

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)

“ ” 2022 р.

Магістерська дисертація

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

з спеціальності: 133 Галузеве машинобудування

освітня програма (спеціалізація): Інжиніринг та комп’ютерно-інтегровані технології проектування інноваційного галузевого обладнання

на тему: Модернізація установки виробництва бензолу з розробкою ректифікаційної колони та парогенератора

Виконав студент 6-го курсу, групи ЛН-з11мп

Литвин Олександр В’ячеславович

Керівник дисертації професор Георгій ІВАНИЦЬКИЙ

Консультанти:

охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

канд. техн. наук, доц. Андрій КОВТУН

(підпис)

розробка стартап-проекту

канд. економ. наук, доц. Наталія ЮДІНА

(підпис)

комп’ютерне моделювання процесів взаємодії

к.т.н., старш. викл. Андрій ЛЮБЕКА

(підпис)

автоматичний контроль і керування процесом

канд. техн. наук, доцент Артем САЗОНОВ

(підпис)

Рецензент

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

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Київ – 2022 року

Зміст

Перелік скорочень, умовних позначень та термінів.....	12
Вступ.....	14
1. Призначення та область використання установки.....	16
1.1 Опис технологічного процесу.....	16
1.2 Вибір типу установки, апаратів, їх місце в технологічній схемі.....	19
2. Технічні характеристики.....	21
2.1 Ректифікаційна колона.....	21
2.2 Парогенератор.....	22
3. Опис та обґрунтування вибраної конструкції апаратів.....	23
3.1 Опис конструкції основних складальних одиниць та деталей апарата.....	23
3.2 Вибір матеріалів елементів конструкцій апарата.....	26
3.3 Порівняння основних показників розроблених конструкцій апаратів з аналогами.....	27
3.4 Патентний огляд конструкцій апаратів.....	31
4. Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції апарата.....	43
4.1 Розрахунок матеріального балансу.....	43
4.2 Розрахунок швидкості і діаметра колони.....	45
4.3 Гідравлічний розрахунок тарілок.....	47
4.4 Визначення числа тарілок та висоти колони.....	51
4.5 Тепловий розрахунок установки.....	54
4.6 Розрахунок еліптичного днища, кришки.....	55
4.7 Розрахунок циліндричної частини колони.....	58
4.8 Перевірка колони на стійкість та міцність.....	60

					<i>ЛНЗ11МП.06634.1.001 ПЗ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Литвин			<i>Модернізація установки виробництва бензолу з розробкою ректифікаційної колони та парогенератора</i>		
Перевір.		Іваницький					
Т. Контр.							
Н. Контр.		Іваницький					
Затверд.							
						Літ.	Арк.
							10
						<i>КПі імені Ігоря Сікорського, ІХФ, МАХНВ</i>	

4.9 Розрахунок опорної обичайки.....	65
4.10 Вибір опори.....	69
4.11 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції парогенератора.....	74
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	85
5.1 Виробничий шум.....	86
5.2 Повітря робочої зони.....	86
5.3 Електробезпека.....	88
5.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	89
6. Рекомендації щодо монтажу та експлуатації.....	92
6.1 Ректифікаційна колона.....	97
6.2 Парогенератор.....	95
7. Рівень стандартизації та уніфікації.....	97
8 Стартап-проект.....	99
8.1 Опис ідеї.....	99
8.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	101
8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	101
8.4 Розроблення ринкової стратегії стартап-проекту.....	108
8.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	111
8.6 Висновки до розділу.....	116
Висновки.....	118
Conclusions.....	119
Перелік посилань.....	120
Додаток А Автоматична схема керування установкою.....	123
Додаток Б Документація до патентного дослідження.....	132
Додаток В CFD аналіз роботи ковпачка ректифікаційної колони.....	142
Додаток Г Комп'ютерний розрахунок елементів апарата.....	147
Додаток Д Патенти, які використані в патентному дослідженні.....	151
Додаток Е Публікації автора.....	162

Перелік скорочень, умовних позначень та термінів

Умовні скорочення:

ККД – коефіцієнт корисної дії.

Критерії:

Pr – критерій Прандтля;

Nu – критерій Нуссельта;

Re – критерій Рейнольдса;

Умовні позначення:

V_p – робочий об'єм, м³;

ρ – густина, кг/м³;

G – продуктивність, кг/с;

D, d – діаметри, м;

H, h – висота, м;

Q – витрати тепла, Вт;

n – кількість тарілок;

R – радіус тарілок, м;

α – коефіцієнт відносної летючості;

l – довжина шляху рідини в тарілці, м;

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості, Па·с;

w – швидкість, м/с;

M – молярна маса дистилату, кг/моль;

t – температура, °С;

T – температура, К;

σ – поверхневий натяг, Н/м;

Π – периметр зливної перегородки, м;

p – тиск, Па;

g – сила тяжіння, м/с²;

					ЛНЗ11МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

η – коефіцієнт корисної дії;

K_1, K_2 – безрозмірні комплекси;

D_p – коефіцієнт дифузії, $\text{м}^2/\text{с}$;

$G_{\text{г.п.}}$ – витрати нагрівального пара, $\text{кг}/\text{с}$;

$V_{\text{в}}$ – витрати охолоджувальної води, $\text{м}^3/\text{с}$;

K – коефіцієнт теплопередачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

L – довжина труб, м ;

					<i>ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ</i>	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Бензол або фенілгідроген – це найбільш поширений хімічний продукт та ароматична сполука. Є неорганічною хімічною сполукою. Цей тип рідини безбарвний і горючий із солодким запахом. Токсична і канцерогенна сполука є однією з найтоксичніших в оточенні людини. Найбільше бензолу міститься у викидах заводів і смогу. На жаль, жодне промислове підприємство не може існувати без бензолу.

Він є основним компонентом в бензині і активно застосовується для створення ветеринарних і медичних препаратів, безлічі барвників, синтетичного каучуку, пластичних мас та багатьох інших потреб. В крайніх випадках його використовують як розчинник. З його допомогою можна перетворювати різні органічні сполуки. Напівпродукти, отримані з його використанням, можуть бути застосовані для виготовлення каучуку, інсектицидів, медичних препаратів. Бензол є в складі сировини нафти, але в промисловості синтезується з інших складових. Також необхідність купівлі бензолу виникає при виробництві автомобільного палива, що сьогодні є дуже актуальним.

Мета дипломного проекту - модернізація установки очистки бензолу з розробкою ректифікаційної колони та парогенератора. Робота є актуальною, оскільки, як вже було зазначено, бензол широко застосовується по всьому світу та його очистка дуже важлива.

Передбачено виконання необхідних розрахунків матеріального балансу, визначення швидкості і діаметра колони, гідравлічний розрахунок тарілок та їх кількості, тепловий розрахунок установки, геометричні розміри, розрахунки навантажень та міцності ректифікаційної колони. Це дає можливість покращити ефективність очистки бензолу.

В роботі необхідно описати конструкцію тарілчастої ректифікаційної колони та її основних складальних одиниць та деталей, обрати матеріали для її виготовлення, порівняти основні показники розробленої конструкції з

					<i>ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ</i>	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

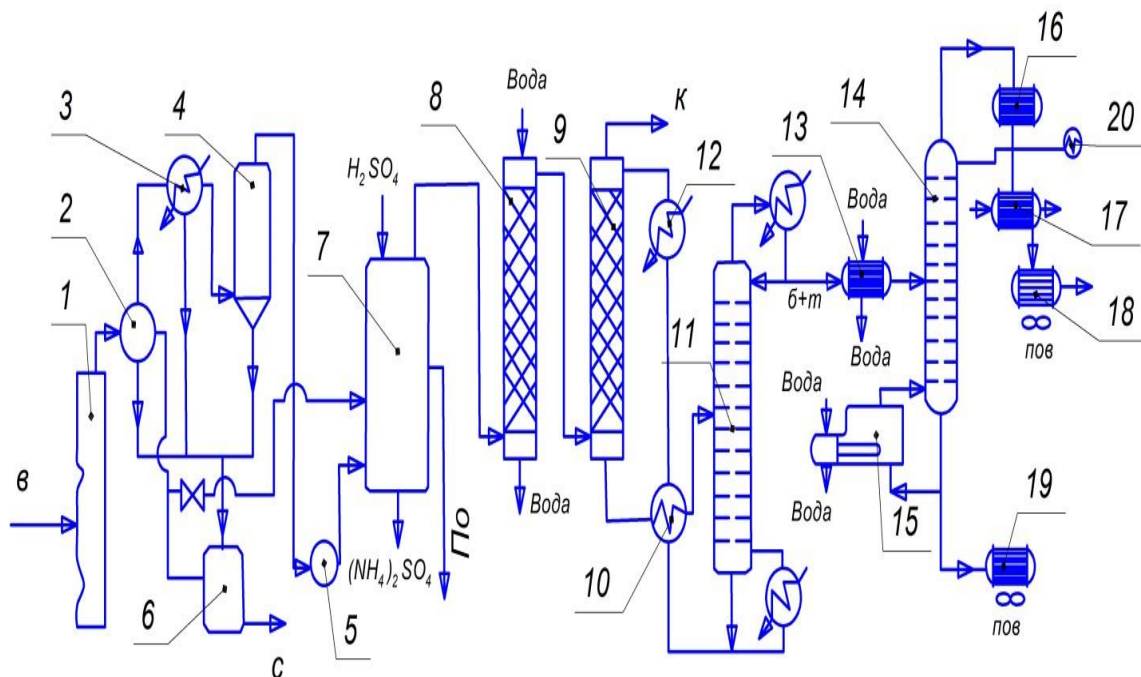
сучасними аналогами, провести патентні дослідження, навести заходи з охорони праці, розрахувати очікувані техніко-економічні показники застосування установки, надати рекомендації щодо монтажу та експлуатації і визначити рівень стандартизації та уніфікації тарілчастої ректифікаційної колони, розробити всі необхідні креслення разом з технологічною схемою.

					ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 Призначення та область використання установки

1.1 Опис технологічного процесу

Технологічну схему процесу зображено на рисунку 1.1 [1].



1 - коксова піч; 2 - газова труба; 3, 8, 12 - холодильники; 4 - електрофільтр;

5 - газодувка; 6 - сепаратор; 7 - установка для уловлювання аміаку і піридинових попереджень; 9 - абсорбер; 10, 13, 16, 17, 18, 19 - тепло обмінники; 11 - десорбер; 14 - ректифікаційна колона, 15 - парогенератор;

20 - нагрівач; в - вугілля; в - смола; По - піридинові основи; к - коксовий газ; б+т - сирі бензол і толуол; пов – повітря

Рисунок 1.1 – Технологічна схема очищення бензолу

Основними джерелами бензолу є продукти коксівного вугілля (коковий газ і кам'яновугільна смола) і нафтопродукти. Отриманий коксовий газ пропускають через ефективну систему конденсаторів і скрубєрів для відділення продуктів, які входять до його складу.

На рисунку 1.2 зображено структурну формулу, кульково-стрижневу модель, формулу скелету та просторову модель бензолу.

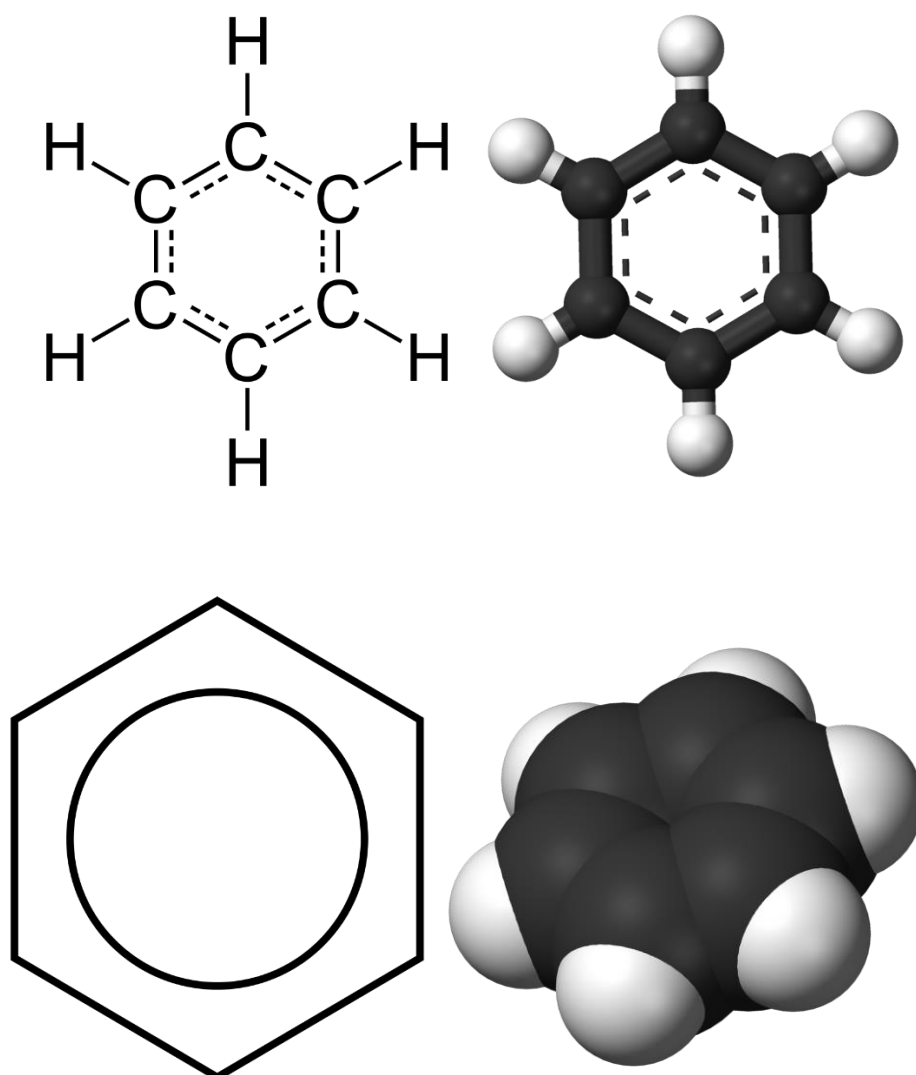


Рисунок 1.2 - Структурна формула, кульково-стрижнева модель, формула скелета та просторова модель бензолу

Летючі продукти коксування (прямий коксовий газ) з печі 1 надходять стояками в газозбірний трубопровід 2. Відбувається первинне охолодження і конденсація газу за рахунок випаровування аміачної води, яка нагнітається в трубопровід через спеціальні спринклери. Продукти коксування охолоджуються до 85-90 ° С, частина конденсується. З газозбірного трубопроводу коксовий газ надходить в холодильник 3, який охолоджується до 30-35 ° С, при цьому конденсується додаткова кількість смоли. Газ, що виходить з холодильника, містить смоляний туман і для його відділення

проходить електрофільтр 4, після чого газодувкою 5 направляється в установку 7 для уловлювання аміаку і піридинових основ.

Конденсат з газопроводу 2 холодильника 3 і електрофільтра 4 розділяється в сепараторі 6 на органічний і водний шари. Органічний шар — кам'яновугільна смола, що містить висококиплячі органічні речовини; відправляється на переробку в «дьюгтовий» цех. Водний шар (аміачна вода) частково повертається в збірну трубу 2 для первинного охолодження продуктів коксування, а частково направляється туди ж, де йде коксовий газ після електрофільтра: на установку 7. Ця установка має випарник аміаку з аміаку. води, сатуратор для поглинання основ сірчаною кислотою, кристалізатор сульфату амонію, апарат для витіснення піридинових основ аміаком з їх сульфатів.

Газ після установки 7 містить пари летких органічних сполук (бензол, толуол). Для їх уловлювання газ охолоджують водою в холодильнику безпосередньо 8 змішування і направляють в абсорбер 9, зрошуваний абсорбентом. Для нагріву коксових печей використовується так званий зворотний коксовий газ, що надходить з абсорбера. Значна частина газу йде на хімічну переробку. Насичене абсорбентне масло, що надходить з нижньої частини абсорбера, проходить через теплообмінник 10, яке нагрівається регенованим зворотним маслом і надходить в десорбер 11. Існує дистиляція, при якій переганяють суміш легких ароматичних сполук (сирий бензол). Сира нафта, що виділяється з сирого бензолу, віддає тепло насиченому маслу теплообмінника 10, далі охолоджується в холодильнику 12 і знову використовується для поглинання вуглеводнів бензолу з коксового газу.

Неочищений бензол є переважно сумішшю низькокиплячих ароматичних вуглеводнів. Його обробляють для вилучення бензолу, толуолу, ксилолів і розчинника (сольвенту). Переробка сирого бензолу ускладнюється наявністю ненасичених сполук і сірковмісних сполук (тіофен і його гомологи), температури кипіння яких близькі до температур кипіння основних речовин. Тому переробка сирого бензолу складається з двох основних процесів:

					ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1) очищення ароматичних вуглеводнів від домішок ненасичених і сірковмісних сполук.

2) розділення суміші очищених ароматичних сполук перегонкою.

Основним способом очищення є промивання концентрованою сірчаною кислотою з наступною нейтралізацією розчину луга. Процеси полімеризації, співполімеризації, конденсації і сульфування окремо так звану кислу смолу, продукти, розчинні у воді і сірчаної кислоти і легко відокремлювані від вуглеводнів, а також речовини, частково розчинні у вуглеводнях ряду бензолу і виділяються при наступній дистиляції 14 як залишки.

1.2 Вибір типу установки, апаратів, їх місце в технологічній схемі

1.2.1 Ректифікаційна колона

Ректифікаційна колонна — це циліндричний апарат з контрактними елементами у вигляді тарілок. Залежно від необхідних параметрів у різних випадках використовують провальні, ковпачкові, клапанні, S-подібні та інші види тарілок [2].

Розрахунок ректифікаційної колони зводиться до визначення її основних геометричних розмірів — діаметра і висоти. Обидві ці величини в значній мірі визначаються гідродинамічним режимом роботи колони, який, в свою чергу, залежить від швидкості та фізичних властивостей компонентів, що підлягають розділенню, а також від типу тарілок.

Насадкові ректифікаційні колони недоцільно використовувати при діаметрі апарату більше 0,8 м, оскільки виникають труднощі з рівномірним зрошенням насадки і загальна ефективність колони починає стрімко зменшуватись зі збільшення діаметра [3].

Тарілчаста ректифікаційна колона характеризується малим гідравлічним опором, здатністю працювати при забруднених середовищах

Для досягнення необхідного степеня розділення компонентів було вирішено використати тарілчасту ректифікаційну колону з ковпачковим видом тарілок, оскільки таке виконання відрізняється простотою конструкції, найбільшою універсальністю та є найбільш поширеним, відповідно, дослідженим, що дає змогу спроектувати установку з підвищеною точністю.

1.2.2 Парогенератор

Розробляється конструкція парогенератора, призначеного для випаровування кубового залишку ректифікаційної колони очистки бензолу. Димові гази будуть використовуватись в якості нагрівального середовища.

Вода, що випаровується, надходить у міжтрубний простір, а димові гази поступають через патрубок в трубний простір, проходять по трубах і виходять через другий патрубок. Було вибрано парогенератор закритого камерного типу з горизонтальним розміщенням пучка труб. Такий апарат є зручним в обслуговуванні та досить надійним при експлуатації.

Область, де застосовується: нафтопереробна промисловість, хімічна.

Приймаємо апарат такого типу за такі переваги:

- 1) малий гідравлічний опір;
- 2) велика площа теплообміну;
- 3) надійність;
- 4) простота конструкції.

2 Технічні характеристики

2.1 Ректифікаційна колона

Технічні характеристики тарілчастої ректифікаційної колони для очистки бензолу відображені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики тарілчастої ректифікаційної колони.

Призначення	очистка бензолу
Продуктивність, т/год	5
Діаметр, м	1,4
Загальний гідравлічний опір тарілки нижньої частини колони, Па	467
Загальний гідравлічний опір тарілки у верхній частині колони, Па	425
Кількість тарілок у верхній частині колони, шт у розрахунках інші величини 12 та 14	12
Кількість тарілок у нижній частині колони, шт	14
Середня температура всередині колони, °C	97
Витрати нагрівального пара, т/год	1,85
Витрати охолоджувальної води, м ³ /год	41,5
Середня густина пара в колоні, кг/ м ³	2,77
Кількість бензолу в дистиляти, %	97
Вихідна суміш бензолу, %	45
Вихідна суміш толуолу, %	55

2.2 Парогенератор

Технічні характеристики парогенератора наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристики парогенератора.

Витрати пари, кг/с	0,49
Діаметр, мм	500
Кількість труб	648
Кількість труб на один хід	324
Довжина, м	3,5
Загальна поверхня теплообміну, м ²	72
Діаметр штуцера для входу води, мм	150
Діаметр штуцера для виходу водяної пари, мм	500
Діаметр штуцера для залишку води, мм	40
Витрати димових газів, кг/с	2,83
Гідравлічний опір трубного простору, кПа	0,56

3 Опис та обґрунтування вибраної конструкції апаратів

3.1 Опис конструкції основних складальних одиниць та деталей апарата

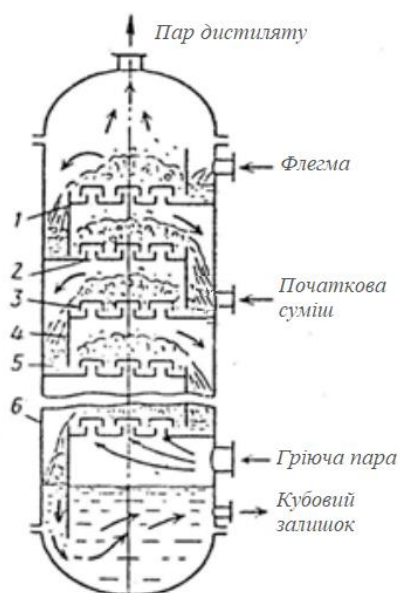
3.1.1 Ректифікаційна колона

Тарілчаста ректифікаційна колонна – це вертикальний циліндр з контактними пристроями у вигляді тарілок (рисунок 3.1).

Ковпачкові тарілки – це найбільш універсальний вид тарілок: вони працюють у найширшому діапазоні навантажень та мають відносно високий ККД (0,75... 0,80). Їх можна використовувати при нестабільних навантаженнях по парі та рідині, а гідравлічний опір не перевищує 1 кПа [2].

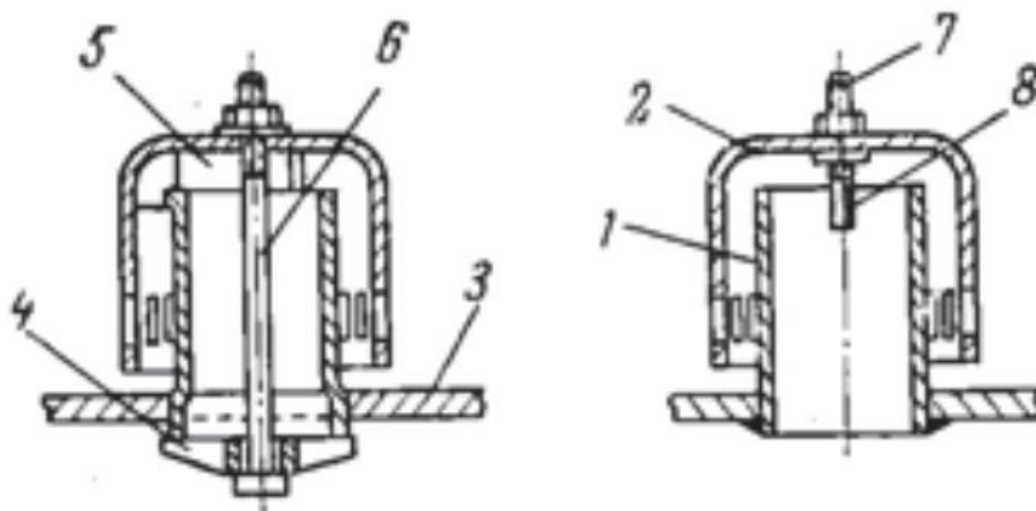
Типи індивідуального кріплення ковпачків показані на рисунку 3.2.

Схема тарілки наведена на рисунку 3.3.



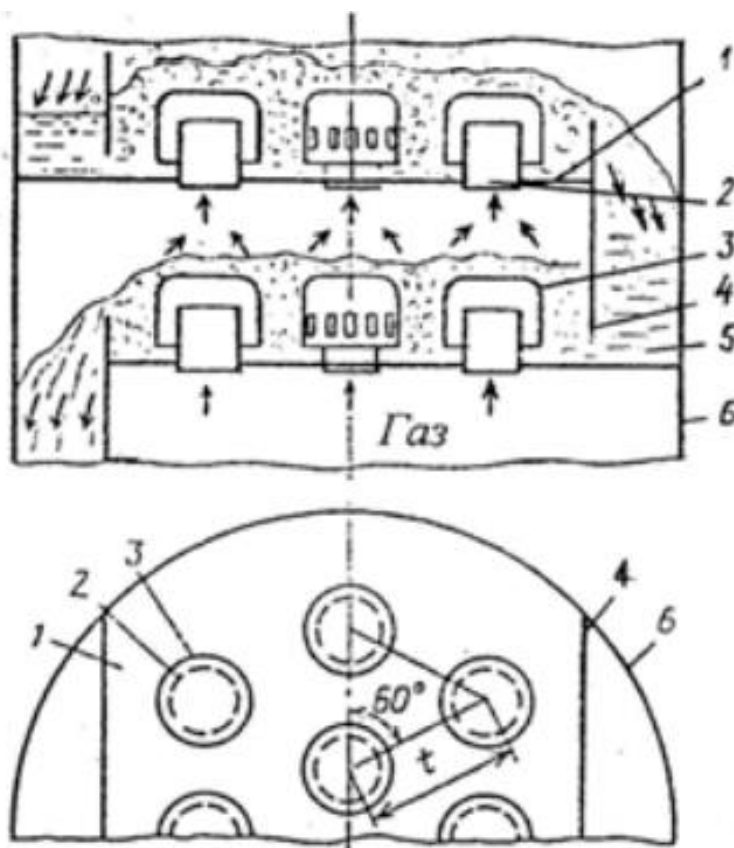
- 1 – тарілка; 2 – паровий (газовий) патрубок; 3 – контактні пристрої;
4 – перелив; 5 – гідравлічний затвор; 6 – корпус колони

Рисунок 3.1 – Схема будови ректифікаційної колони



1 – стакан; 2 – ковпачок; 3 – диск тарілки; 4 – трубіна; 5, 8 – планки;
6 – болт; 7 – шпилька

Рисунок 3.2 — Типи індивідуального кріплення ковпачків

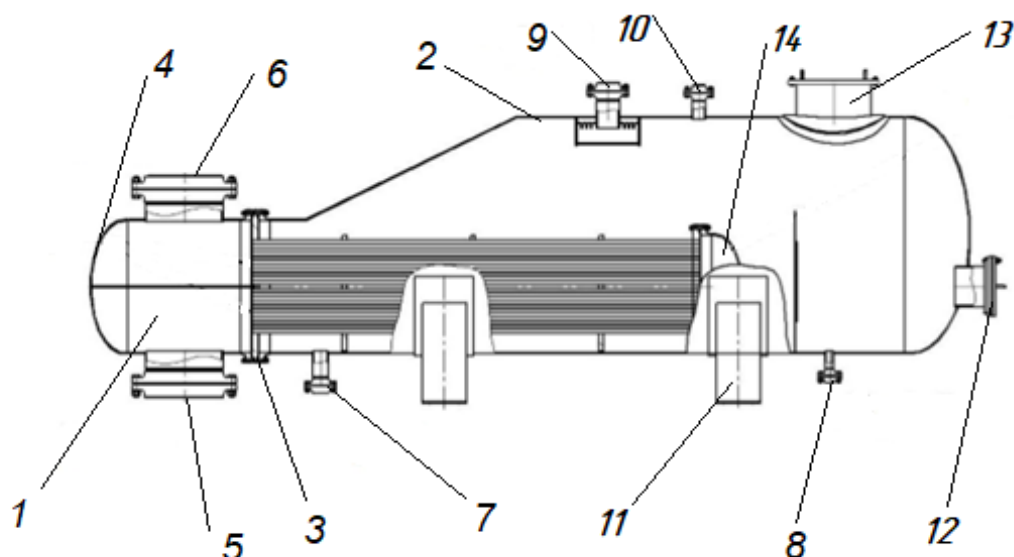


1 – тарілка; 2 – паровий (газовий) патрубок; 3 – круглі ковпачки; 4 –
перелив; 5 – гідравлічний затвор; 6 – корпус колони

Рисунок 3.3 – Схема ковпачкової масообмінної тарілки

3.1.2 Парогенератор

У дипломному проекті розробляється конструкція парогенератора, призначеного для випаровування кубового залишку ректифікаційної колони очистки бензолу. (Рисунок 3.4).



1 – розподільча камера; 2 – корпус парогенератора; 3 – трубна решітка; 4 – днище; 5 – штуцер виводу водяної пари; 6 – штуцер подачі водяної пари; 7 – штуцер подачі рідкого гліцерину; 8 – штуцер виводу залишку гліцерину; 9 – штуцер виводу парів гліцерину; 10 – штуцер дренажний; 11 – опора; 12 – технічний штуцер; 13 – люк; 14 – плаваюча головка;

Рисунок 3.4 – Схема парогенератора

Випаровування забезпечується водяною парою, яка подаються через штуцер 6 у трубний простір. Через штуцер 7 у міжтрубний простір подається бензол.

Бензол нагрівається і утворюється пара, вона відводиться через штуцер 9, а залишки бензолу виходять через штуцер 8. Для компенсації температурних деформацій трубчатка зроблена у вигляді пучка труб з плаваючою головкою 14.

3.2 Вибір матеріалів елементів конструкції апарата

3.2.1 Ректифікаційна колона

Оскільки внутрішній тиск колони дорівнює атмосферному, а температура колони рівна температурі навколишнього середовища, то з цього випливає, що фактори не враховуються при виборі матеріалу. Для виготовлення опори використовується сталь марки Ст 3 ГОСТ 380-2005. Це маловуглецева сталь звичайної якості. Враховуючи рекомендовані матеріали для нафтопереробного машинобудування, було обрано сталь 12X18H10T ГОСТ 5632-72. Це жароміцна нержавіюча сталь високої якості. Гранична температура використання становить 600 °С, температура технологічного процесу в колоні становить 270 – 280 °С, саме тому всі складальні одиниці та деталі апарату виконано зі сталі 12X18H10T ГОСТ 5632-72.

Для спрощення виготовлення тарілок будемо використовувати термостійкий полімер ніплон-1 ТУ 6-05-988-75 (полімери ГОСТ 24888-81). Верхня температурна границя використання даного полімеру становить 350°С, а температура середовища в колоні 270 – 280 °С. Для ізоляції застосовується азбестовий шнур ГОСТ 1779-83. Прокладки виготовлені з азбестового картону в металевій оболонці, виконаної з сталі марки 12X18H10T ГОСТ 5632-72.

3.2.2 Парогенератор

Корпус парогенератора виконаний із сталі 12X18H10T згідно з [ГОСТ 5632 – 72]. Сталь 12X18H10T відповідає технічним вимогам [ГОСТ 9940–81] і [ГОСТ 9941–81], працює в інтервалі температур від мінус -250 °С до 600 °С та тиску до 10 МПа. Сталь 12X18H10T застосовується при виготовленні корпусів, обичайок, фланців, днищ, люків, трубних решіток, патрубків та інших деталей, що працюють в даному інтервалі температур та тисків [4]. Днище еліптичне виконано зі сталі 12X18H10T згідно з [ГОСТ 5632 – 72].

					<i>ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ</i>	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сталь марки 12X18H10T відповідає технічним вимогам [ГОСТ 9940–81] і [ГОСТ 9941–81], працює в інтервалі температур від мінус- 200 °С до 600 °С та тиску до 10 МПа [4].

Труби виконані зі сталі 08X18H10T згідно [ГОСТ 5632 – 72]. Сталь марки 08X18H10T має відповідати технічним вимогам [ГОСТ 9940–81] та [ГОСТ 9941–81]. Працює в інтервалі температур від - 30 °С до 550°С та тиску до 10 МПа. Сталь 08X18H10T застосовується також при виготовленні змійовиків, трубних пучків, фланців, патрубків, корпусів та ін. [4].

Розподільна камера парогенератора виконана зі сталі 12X18H10T за [ГОСТ 5632 – 72]. Сталь марки 12X18H10T відповідає технічним вимогам [ГОСТ 9940–81] і [ГОСТ 9941–81], працює в інтервалі температур від -250 °С до 600 °С та тиску до 10 МПа [4]. Трубна решітка виконана зі сталі 12X18H10T згідно з [ГОСТ 5632 – 72]. Сталь марки 12X18H10T відповідає технічним вимогам [ГОСТ 9940–81] і [ГОСТ 9941–81], працює в інтервалі температур від мінус – 250 °С до 600 °С та тиску до 10 МПа [ГОСТ 9940–81]. Підкладний лист виконаний зі сталі 12X18H10T згідно з [ГОСТ 5632 – 72].

3.3 Порівняння основних показників розроблених конструкцій апаратів з аналогами

3.3.1 Ректифікаційна колона

Ціль завдання: порівняння конструкції обраної тарілчастої ректифікаційної колони з аналогами та обґрунтування вибору.

У процесі сірчано-лужного очищення стічних вод використовується тарілчаста ректифікаційна колона для очищення сірководню та аміаку. Конструктивно вона відрізняється тим, що в середній частині встановлено кип'ятильник, для підняття температури. Також відбувається часткове повернення парів, після конденсації, для розпилення на верхній тарілці. Інший аналог знайдено в процесі регенерації водного розчину метанолу. Головна

					ЛНЗ11МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відмінність в тому, що по висоті колони встановлено відсік для відводу вуглеводнів залежно від температур кипіння вуглеводів. Порівняльна характеристика ректифікаційних колон наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика колон

Показники	Колона процесу сірчано-лужного очищення стічних вод	Колона процесу регенерації водного розчину метанолу	Колону для розділення суміші бензол-метилбензол	Насадкова колона	Колона
1	2	3	4	5	6
Тиск, МПа	0,6 (1)	0,1-0,15 (5)	0,2 (3)	0,3 (3)	0,56 (2)
Робоча температура, °С	94 (5)	105 (3)	137 (2)	161 (2)	277,5 (1)
Продуктивність, кг/с (бали)	11 (4)	10 (3)	12 (3)	13 (3)	14 (5)
Висота колони, м (бали)	11 (4)	12 (3)	10 (3)	9 (2)	8,5 (5)
Потужність, кВт (бали)	6 (3)	7,7 (2)	5,1 (3)	5,3 (3)	4,2 (5)
Ефективність за концентрацією, % (бали)	96-99 (4)	91-92 (2)	93-94 (3)	95-97 (3)	98-99 (5)
Капітальні витрати, тис. грн (бали)	200 (3)	230 (2)	170 (4)	180 (4)	150 (5)

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6
Легкість пуску та запинки (бали)	3	4	2	3	5
Легкість ремонту та обслуговування (бали)	3	4	3	2	5
Загальна кількість балів	32	28	26	20	38

Висновок: порівнявши обрану ректифікаційну колону з аналогами та, порівнявши бали, приходимо до висновку, що наш апарат найвигідніше використовувати для очистки бензолу.

3.3.2 Парогенератор

Ціль завдання: порівняння конструкції обраного парогенератора з аналогами та обґрунтування вибору. Класифікація парогенераторів доволі велика і напряду залежить від принципу, який покладено в її основу.

Парогенератори розділяються на такі групи:

- 1) Змішування;
- 2) Регенеративного типу;
- 3) Рекуперативного типу.

В парогенераторах змішування контакт теплоносія з середою відбувається в бульбашках газу, що бортуються через рідину.

В парогенераторах рекуперативного типу принцип дії полягає в контакті нагрівального агенту з насадкою, та відповідно насадки з середою, що підігрівається.

Порівняння проводиться з чотирма апаратами.

Порівняльна характеристика парогенераторів наведена в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Порівняльна характеристика парогенераторів

Показники	Електрич ний	Виносний кожух	З рідинним нагрівом	Змішува ння	Апарат, що проектуєть ся
1	2	3	4	5	6
Продуктивні сть G	0,5(3)	0,5(4)	0,2(3)	0,6 (4)	0,8(5)
Робочий тиск, МПа	6,5(3)	7 (4)	2(1)	3 (2)	8(5)
Висота апарата, м	3,5(1)	3(2)	1 (5)	1,5 (4)	2(4)
Робоча температура, К	430 (3)	435(4)	400(3)	440 (4)	570(5)
Вартість виготовлення , тис. грн..	55(2)	50(3)	15(5)	41 (4)	42(4)
Гідравлічний опір, Па	47000(4)	52000(3)	59000(2)	48000 (4)	44000(5)
Сума балів	16	20	19	22	28

Висновок: порівнявши обраний парогенератор з аналогами та, порівнявши бали, приходимо до висновку, що наш апарат найвигідніше використовувати.

3.4 Патентний огляд конструкції апаратів

3.4.1 Ректифікаційна колона

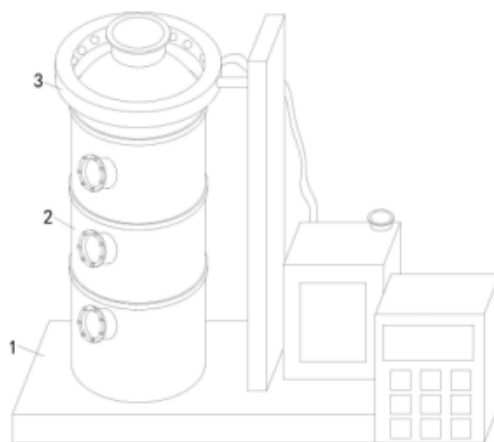
Виконано патентний пошук та знайдено апарати для порівняння за даною ректифікаційною колоною.

Ректифікаційна колона [4].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.5.

Корисна модель розкриває структуру ректифікаційної колони багатоступеневої хімічної промисловості. Придатність стосується технічної галузі ректифікаційної колони колони. Включаючи платформу, раму дистиляційної башти та охолоджуючу конструкцію, верхнє фіксоване кріплення землі має каркас ректифікаційної башти, конструкцію охолодження та панель керування.

Конструкція охолодження включає резервуар для води та приводну пластину, верхнє ковзне з'єднання приводної пластини має зовнішнє ліхтарне кільце, кришка зовнішнього ліхтарного кільця встановлена на зовнішній стороні каркаса дистиляційної башти, кінець для відтворення води та зовнішнє кільце ліхтаря резервуара для води з'єднані разом.



1 – платформа, 2 – рама, 3 – охолоджувальна конструкція

Рисунок 3.5 – Ректифікаційна колона

					ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Недоліки:

- тривалий процес перегонки;
- невисока продуктивність.

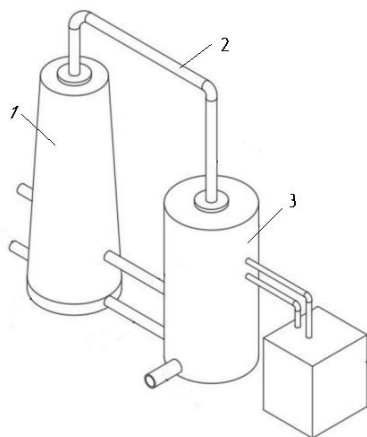
Переваги:

- надійність конструкції;
- довговічність.

Ректифікаційна колона [5].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.6.

Корисна модель розкриває спеціальну ректифікаційну колону для виробництва броду, яка складається з внутрішнього корпусу дистиляційної башти, де теплозберігаюча зовнішня башта розташована поза корпусом внутрішньої дистиляційної башти, труба для транспортування попереднього нагріву намотана на зовнішню бокову стінку внутрішньої Корпус ректифікаційної башти, зовнішня башта для збереження тепла з'єднана з камерою охолодження через трубу для транспортування пари, перевернута охолоджуюча вежа розташована в охолоджувальній камері, механізм циркуляції води розташований у перевернутій охолоджувальній башті, влаштований збірний порт у нижній частині охолоджувальної камери, а охолоджувальна камера сполучається із зовнішньою баштою для збереження тепла через зворотну трубу.



1 – корпус, 2 конвеєрна труба, 3 – охолоджувальна башта

Рисунок 3.6 – Спеціальна ректифікаційна колона

					ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Недоліки:

- низька продуктивність;
- складність конструкції;
- дорога в експлуатації.

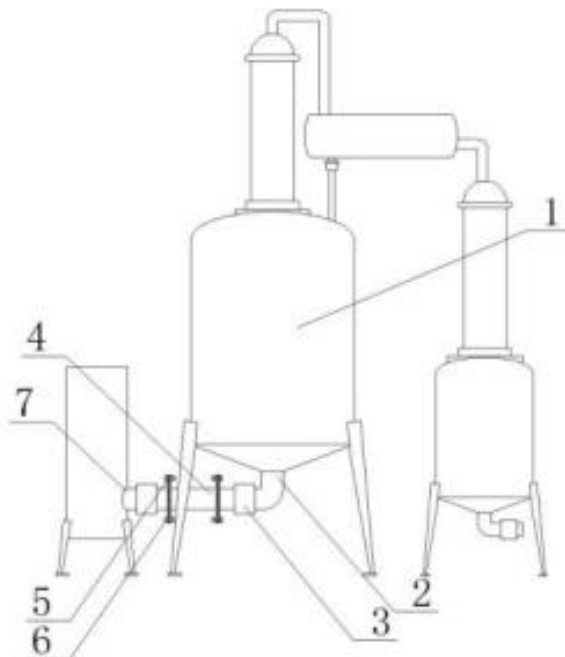
Переваги:

- якісний вихідний матеріал;
- довговічність.

Ректифікаційна колона [6].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.7.

Ректифікаційна колона, що містить корпус 1 колони, яка відрізняється тим, що: нижня частина корпусу 1 башти проходить через конвеєрну трубу 2 і оснащена нею, одна сторона конвеєрної труби 2 оснащена подавальною трубою 7, можна демонтувати разом між конвеєрною трубою 2 і подавальною трубою 7 і з'єднати з'єднувальною трубою 4.



1 – корпус колони, 2 – конвеєрна труба, 3 – клапан, 4 – з'єднувальна труба, 5 – фланець, 6 – болт, 7 – подавальна труба.

Рисунок 3.7 – Спеціальна ректифікаційна колона

Недоліки:

- складність конструкції;
- дороговизна.

Переваги:

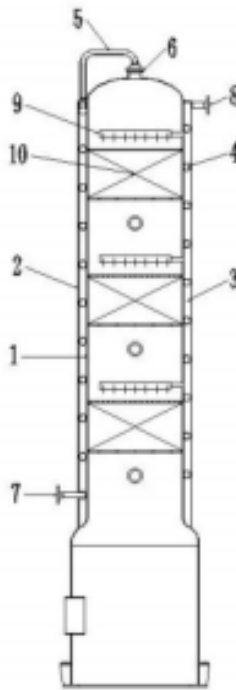
- висока продуктивність;
- довговічність.

Ректифікаційна колона [7].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.8.

Нова ректифікаційна колона використовується для отримання бутандіолу, включає корпус дистиляційної колони 1, який відрізняється тим, що: сорочка 2 розташована поза корпусом ректифікаційної башти 1 і порожнину теплообмінної сорочки 3 розташований між корпусом дистиляційної башти 1 і сорочкою 2; спіральна труба 4 розташована в затискній порожнині теплообмінника 3, внутрішнє кільце спіральної труби 4 нерухомо з'єднане із зовнішньою поверхнею стінки корпусу дистиляційної башти 1, а зовнішнє кільце спіральна труба 4 нерухомо з'єднана з внутрішньою поверхнею стінки затискної втулки 2; верхній кінець спіральної труби 4 нерухомо з'єднаний з одним кінцем сполучної труби 5, а інший кінець сполучної труби 5 з'єднаний з випускним отвором 6 газової фази; вихід газової фази 6 розташований у верхній частині внутрішньої порожнини корпусу ректифікаційної башти 1.

Ректифікаційна колона характеризується тим, що безліч поздовжньо розташованих розподільників рідини 9 розташовані у внутрішній порожнині корпусу 1 дистиляційної башти, а розподільники рідини 9 поєднані з теплообмінною затискною порожниною 3.



1 – ректифікаційна колона, 2 – затискна втулка, 3 – теплообмінна сорочка, 4 – спіральна труба, 5 – сполучна труба, 6 – газова фаза, 7 – фланець, 8 – вхідна труба, 9 – розподільники рідини, 10 – пакувальний шар.

Рисунок 3.8 – Спеціальна ректифікаційна колона

Недоліки:

- розміри;
- висока вартість;
- продуктивність.

Переваги:

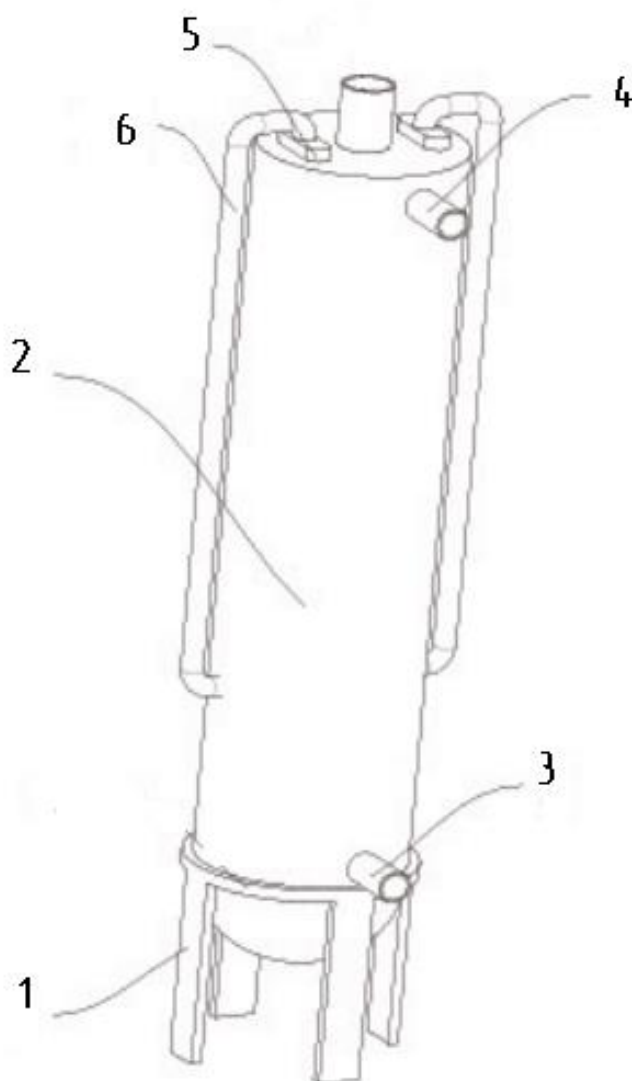
- простота конструкції;
- довговічність.

Ректифікаційна колона [8].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.9.

Корисна модель розкриває герметичну ректифікаційну колону з очисною конструкцією, конкретно стосується поля дистиляційної колони, яка містить корпус, вхідну трубу та вихідну трубу, вхідна труба встановлена на одній стороні корпусу, зовнішня стінка на корпусі є встановлюється на випускную трубу, всередині корпусу обладнано нагрівачем, опора внутрішньої

стінки корпусу з'єднана з поворотною колоною, верхнє фіксоване кріплення поворотної колони має поворотний шток, одна сторона поворотного штока оснащена флабеллюм, верхня частина корпусу обладнана вихідним каналом, флабеллюм встановлений у внутрішній частині випускного каналу, зовнішня стінка поворотної колони оснащена зміною, одна сторона зміни оснащена лопаткою, ковзне з'єднання лопаті на внутрішній стінці корпусу одна сторона обертової колони оснащена суцільним фіксованим кільцем, одна сторона суцільного фіксованого кільця оснащена перемішувальним стрижнем.



1 – опори, 2 – корпус, 3 – фланець, 4 – вихідний патрубок, 5 – кришка, 6 – трубка.

Рисунок 3.9 – Спеціальна ректифікаційна колона

Недоліки:

- дороговизна;
- розмір;

Переваги:

- надійність;
- продуктивність.

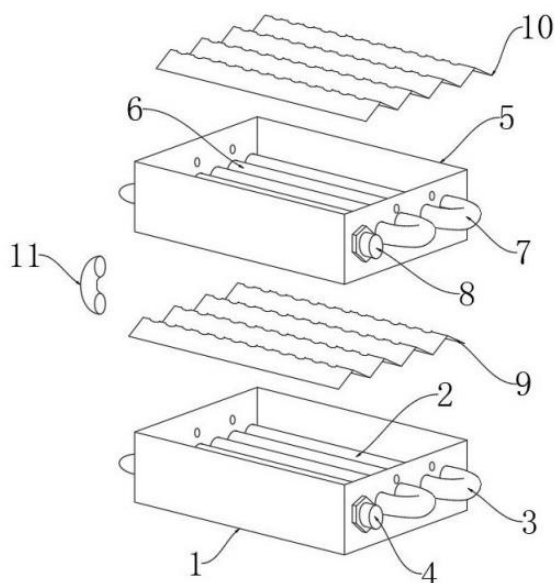
Висновок: в результаті патентного пошуку встановлено, що сучасні ректифікаційні колони достатньо вивчені та якісно розроблені, але є свої недоліки. В запропонованій конструкції апарата не використовуються технічні рішення захищені правами інтелектуальної власності, а отже апарат є патентно чистим.

3.4.2 Парогенератор

Парогенератор [9].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.10.

Внутрішній мішок парогенератора, включаючи нижній внутрішній мішок 1 і останній внутрішній мішок 5, відрізняється тим, що: внутрішній вкладиш містить нижній вкладиш 1, безліч нижніх ребристих трубок 2 нерухомо встановлені в нижній вкладиш 1, безліч невеликих зігнутих трубок 3 нерухомо встановлені на зовнішній стороні нижнього вкладиша 1 і сполучаються з нижніми ребристими трубками 2 через маленькі зігнуті трубки 3, безліч верхніх ребристих трубок 6 нерухомо встановлено у верхньому вкладиші 5, безліч невеликих зігнутих трубок 7 нерухомо встановлено на зовнішній стороні верхнього вкладиша 5 і з'єднані з верхніми ребристими трубками 6 через маленькі зігнуті трубки 7.



1 – внутрішній мішок, 2, 6 – ребристі трубки, 3, 7 – зігнуті трубки, 4 – вихідні пари, 5 – внутрішній мішок, 8 – вхід води, 9 – нижня теплоізоляційна плита, 10 – верхня теплоізоляційна плита, 11 – великий згин труби

Рисунок 3.10 – Парогенератор

Недоліки:

- мала продуктивність;
- неекономічність.

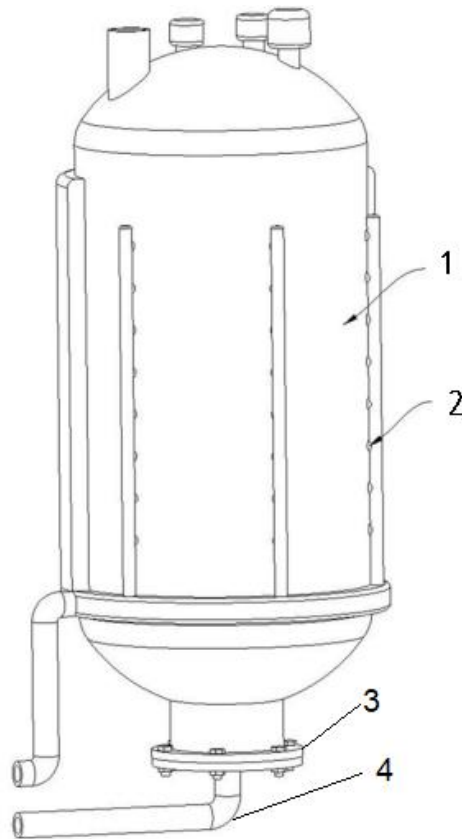
Переваги:

- довговічність;
- простота конструкції.

Парогенератор [10].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.11.

Парогенератор камери для приготування на пару морепродуктів, як правило, містить резервуар для води, нагрівач і пристрій для поповнення води, а також вимірювач рівня рідини, розташований у резервуарі для води. Коли парогенератор працює, нагрівач нагріває воду у всьому резервуарі для води, і велика кількість водяної пари використовується для генерації лише тоді, коли температура води нагрівається до стану кипіння або досягає її. Оскільки парогенератору потрібно нагріти весь резервуар води, коли він тільки починає працювати, на кожному кроці, тому парогенерація є неефективною.



1 – корпус, 2 – розпилювані насадки, 3 – кільцевий фланець, 4 - трубка

Рисунок 3.11 – Парогенератор

Недоліки:

- неефективна парогенерація;
- складність конструкції.

Переваги:

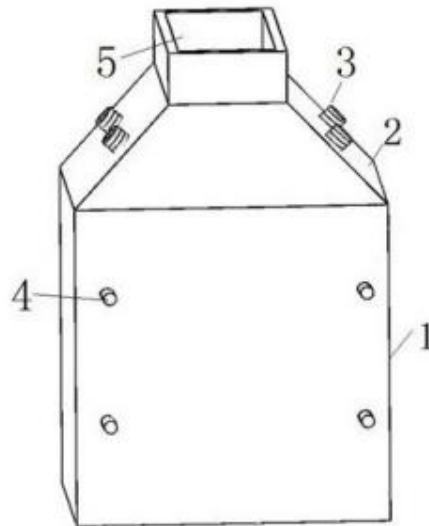
- якість вихідного продукту.

Парогенератор [11].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.12.

Парогенератор для швидкого генерування пари, що характеризується тим, що містить основний корпус, безліч нагрівальних проводів 4 для сухого вогню та розпилювальний пристрій; основний корпус містить нижню структуру 1 і верхню структуру 2; нагрівальні дроти сухого горіння 4 рівномірно розташовані в нижній конструкції 1, розпилюючий пристрій містить безліч розпилювальних сопел 3, а розпилювальні сопла 3 рівномірно

розташовані на верхній конструкції 2 і може розпилювати розпилену воду в нижню структуру 1; клеми електричних нагрівальних проводів 4 сухого нагріву виходять з нижньої конструкції 1 і відповідно електрично з'єднані з джерелом живлення; верхня конструкція 2 забезпечена паровиходом 5.



1 – нижня структура, 2 – верхня структура, 3 – розпилювальні сопла, 4 – нагрівальні проводи, 5 – паровихід

Рисунок 3.12 – Парогенератор

Недоліки:

– низька продуктивність.

Переваги:

– дешевизна;

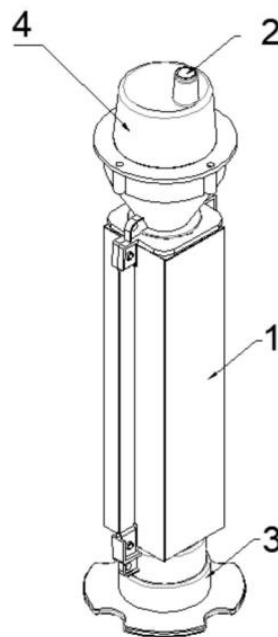
– простота конструкції.

Парогенератор [12].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.13.

Електричний парогенератор також називають мініатюрним електричним паровим котлом, це мініатюрний котел, який може автоматично доповнювати воду та тепло і може безперервно генерувати пару низького тиску, інтегрально утворений невеликим резервуаром для води, насосом для поповнення води та операцією керування. Система в комплекті, і в основному

використовується для забезпечення сушильною парою для хімчисток, парних, парових прасок тощо.



1 – оболонка, 2 – нагрівальний елемент, 3 - опора , 4 - сепаратор

Рисунок 3.13 – Парогенератор

Недоліки:

– низька продуктивність.

Переваги:

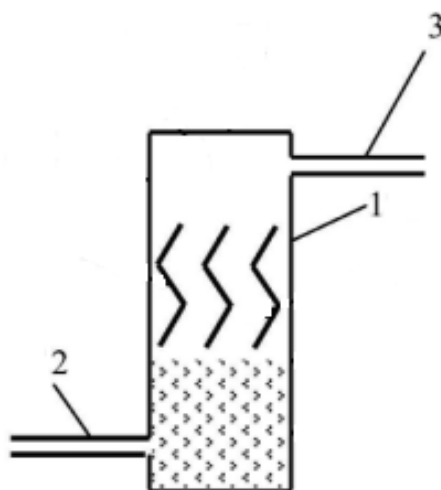
– дешевизна;

– простота у використанні.

Парогенератор [13].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.14.

Пар-рідинний сепаратор, що містить: корпус і структуру розділення пари-рідина, корпус має камеру буферного вихідного розчину, впускний отвір для пари та вихід для пари, впускний отвір для пари з випускним отвором для пари, усі з комунікацією між камерою для буферного вихідного розчину, набори впускних отворів для пари та випуску пари взаємозв'язок із паровою парогенератором, структурою розділення пари та рідини, встановленою у внутрішній порожнині буферного розчину.



1 – корпус, 2 – вхідний патрубок, 3 – вихідний патрубок

Рисунок 3.14 – Парогенератор

Недоліки:

– низька продуктивність.

Переваги:

– дешевизна;

– простота у використанні.

Висновок: в результаті патентного пошуку встановлено, що сучасні парогенератори достатньо вивчені та якісно розроблені, але є свої недоліки. В запропонованій конструкції апарата не використовуються технічні рішення захищені правами інтелектуальної власності, а отже апарат є патентно чистим.

4 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції апарата

4.1 Розрахунок матеріального балансу

Метою розрахунку є визначення матеріального балансу ректифікаційної колони.

Вихідні дані:

Продуктивність G , т/год	5;
Вихідна суміш бензолу, %	45;
Вихідна суміш толуолу, %	55;
Кількість бензолу в дистиляті, %	97;
Тиск нагрівального пара $p_{\text{нп}}$, МПа	0,3;
Залишок толуолу в кубовому залишку, %	98%

Розрахункова схема тарілчастої ректифікаційної колони наведена на рисунку 4.1.

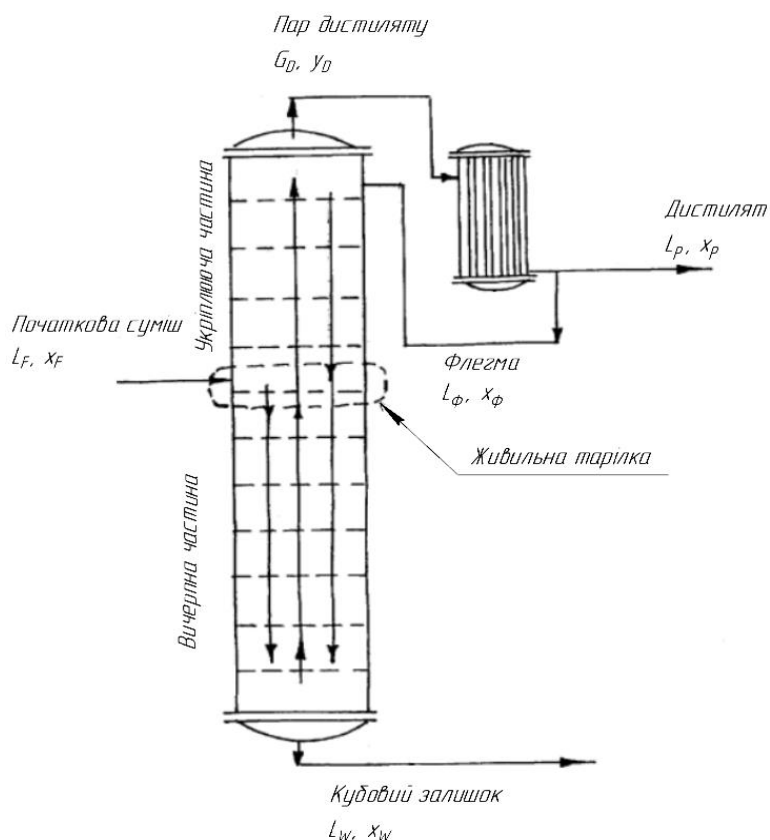


Рисунок 4.1 — Розрахункова схема тарілчастої ректифікаційної колони

Методика проведення даного розрахунку складена згідно [14].

Матеріальний баланс

$$G_D + G_W = 5000;$$

$$G_D \cdot 0,97 + G_W \cdot 0,02 = 5000 \cdot 0,5;$$

$$G_D = 2525 \text{ кг / год};$$

$$G_W = 2475 \text{ кг / год};$$

Живлення:

$$x_F = \frac{\frac{\tilde{x} / M_{\delta}}{M_{\delta}} + \frac{100 - \tilde{x}_F}{M_T}}{\frac{50}{78} + \frac{50}{92}} = 0,542;$$

Дистилят:

$$x_D = \frac{\frac{\tilde{x}_D / M_{\delta}}{M_{\delta}} + \frac{100 - \tilde{x}_D}{M_T}}{\frac{97}{78} + \frac{3}{92}} = 0,974;$$

Кубовий залишок:

$$x_W = \frac{\frac{\tilde{x}_W / M_{\delta}}{M_{\delta}} + \frac{100 - \tilde{x}_W}{M_T}}{\frac{2}{78} + \frac{98}{92}} = 0,023;$$

Відносні мольні витрати живлення:

$$F = \frac{x_D - x_W}{x_F - x_W} = \frac{0,974 - 0,023}{0,542 - 0,023} = 1,83;$$

Крива рівноваги точок згину не має.

Знаходимо мінімальне число флегми по рівнянню:

$$R_{\min} = \frac{x_D - y_F^*}{y_F^* - x_F} = \frac{0,974 - 0,74}{0,74 - 0,542} = 1,18;$$

Де, $y_F^* = 0,74$ мольна доля бензолу в парі, рівноважному з рідиною живлення, знаходимо по діаграмі $y^* - x$

Знаходимо мінімальне число флегми по рівнянню:

$$R = 1,3R_{\min} + 0,3 = 1,3 \cdot 1,18 + 0,3 = 1,83;$$

Рівняння робочих ліній:

					ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

а) верхній (зміцнювальній) частині колони

$$y = \frac{R}{R+1}x + \frac{x_D}{R+1} = \frac{1,83}{1,83+1}x + \frac{0,974}{1,83+1};$$

$$y = 0,64x + 0,344;$$

б) нижній частини колони

$$y = \frac{R+F}{R+1}x - \frac{F-1}{R+1}x_W = \frac{1,83+1,83}{1,83+1}x - \frac{1,83-1}{1,83+1}0,023;$$

$$y = 1,18x - 0,0067;$$

4.2 Розрахунок швидкості і діаметра колони

Метою розрахунку є визначення швидкості та діаметру тарільчастої ректифікаційної колони.

Вихідні дані:

Продуктивність G, т/год	5;
Вихідна суміш бензолу, %	45;
Вихідна суміш толуолу, %	55;
Кількість бензолу в дистиляті, %	97;
Тиск нагрівального пара $p_{\text{нп}}$, МПа	0,3;
Залишок толуолу в кубовому залишку, %	98%

Методика проведення даного розрахунку складена згідно [14].

Середні концентрації рідини:

а) у верхній частині колони

$$x'_{cp} = \frac{x_F + x_D}{2} = \frac{0,542 + 0,974}{2} = 0,758;$$

б) у нижній частині колони

$$x''_{cp} = \frac{x_F + x_W}{2} = \frac{0,542 + 0,023}{2} = 0,283;$$

Середні концентрації пару знаходимо по рівнянню робочих ліній:

а) у верхній частині колони

$$y'_{cp} = 0,64x'_{cp} + 0,344 = 0,64 \cdot 0,758 + 0,344 = 0,829;$$

б) у нижній частині колони

$$y_{cp}^* = 1,18x_{cp}^* + 0,0067 = 1,18 \cdot 0,283 + 0,0067 = 0,34;$$

Середні температури пара знаходимо по діаграмі $t - x, y$;

а) при $y_{cp}^* = 0,829$ $t_{cp}^* = 88^\circ C$

б) при $y_{cp}^* = 0,34$ $t_{cp}^* = 103^\circ C$

Середні мольні маси і густини пара:

а) $M_{cp}^* = 0,829 \cdot 78 + 0,171 \cdot 92 = 80,3 \text{ кг} / \text{моль};$

$$\rho_{cp}^* = \frac{M_{cp}^* T_0}{22,4 T_{cp}^*} = \frac{80,3 \cdot 273}{22,4 \cdot 361} = 2,71 \text{ кг} / \text{м}^3;$$

б) $M_{cp}^* = 0,34 \cdot 78 + 0,66 \cdot 92 = 87,24 \text{ кг} / \text{моль};$

$$\rho_{cp}^* = \frac{M_{cp}^* T_0}{22,4 T_{cp}^*} = \frac{87,24 \cdot 273}{22,4 \cdot 376} = 2,82 \text{ кг} / \text{м}^3;$$

Середня густина пара в колоні:

$$\rho_{\Pi} = \frac{(\rho_{cp}^* + \rho_{cp}^*)}{2} = \frac{2,71 + 2,82}{2} = 2,77 \text{ кг} / \text{м}^3;$$

Приймаємо середню густину рідини в колоні:

$$\rho_6 = 813 \text{ кг} / \text{м}^3;$$

$$\rho_T = 783 \text{ кг} / \text{м}^3;$$

$$\rho_p = \frac{813 + 782}{2} \approx 800 \text{ кг} / \text{м}^3;$$

Знаходимо швидкість пара в колоні по рівнянню:

$$h = 300 \text{ мм};$$

$$C = 0,032;$$

$$w = C \sqrt{\frac{\rho_p}{\rho_{\Pi}}} = 0,032 \sqrt{\frac{800}{2,77}} = 0,54 \text{ м} / \text{с};$$

Об'ємні витрати прохідного через колону пара при середній температурі в колоні:

$$t_{cp} = \frac{88 + 103}{2} \approx 96^\circ C;$$

					ЛНЗ11МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мольна маса дистилляту:

$$M_D = 0,965 \cdot 78 + 0,035 \cdot 92 = 78,5 \text{ кг} / \text{кмоль};$$

$$V = \frac{G_D (R+1) 22,4 T_{ce} \rho_0}{M_D T_0 \cdot 3600 p} = \frac{2525 (1,83+1) 22,4 \cdot 369 \cdot 1,033}{78,5 \cdot 273 \cdot 3600 \cdot 1} = 0,79 \text{ м}^3 / \text{с};$$

Діаметр колони:

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785 w}} = \sqrt{\frac{0,79}{0,785 \cdot 0,54}} = 1,36 \text{ м};$$

Приймаємо $D = 1400$ мм, тоді швидкість пара в колоні буде:

$$w = \frac{V}{0,785 D^3} = \frac{0,79}{0,785 \cdot 1,4^3} = 0,36 \text{ м} / \text{с}.$$

4.3 Гідравлічний розрахунок тарілок

Метою є розрахунок гідравлічного опору.

Вихідні дані:

Продуктивність G , т/год	5;
Вихідна суміш бензолу, %	45;
Вихідна суміш толуолу, %	55;
Кількість бензолу в дистилляті, %	97;
Тиск нагрівального пара $p_{\text{нп}}$, МПа	0,3;
Залишок толуолу в кубовому залишку, %	98%;
Розмір сітчаної тарілки d_0 , мм	4;
Висота зливної перегородки $h_{\text{п}}$, мм	40;
На рисунку 4.2 наведено схему сітчастої тарілки.	

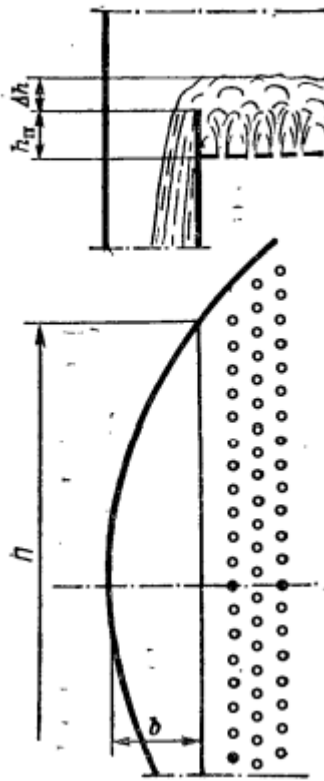


Рисунок 4.2 – схема сітчастої тарілки

Методика проведення даного розрахунку складена згідно [14].

Рівняння для розрахунку гідравлічного опору тарілки в верхній та нижній частині колони:

$$\Delta p = \Delta p_{\text{сyx}} + \Delta p + \Delta p_{\text{np}};$$

а) Верхня частина колони:

$$\Delta p_{\text{сyx}} = \frac{\zeta \omega_0^2 p_{\text{п}}}{2} = \frac{1,82 \cdot 4,5^2 \cdot 2,77}{2} = 51 \text{ Па};$$

$$\text{Де } \omega_0 = \frac{0,36}{0,08} = 4,5 \text{ м/с};$$

Опір, обумовлений силами поверхневого натягу:

$$\Delta p_0 = \frac{4\sigma}{d_0} = \frac{4 \cdot 20,5 \cdot 10^{-3}}{0,004} = 20,5 \text{ Па};$$

Де $\sigma = 20,5 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$ - поверхневий натяг рідини при середній температурі в верхній частині колони.

$d_0 = 0,004 \text{ м}$ - діаметр отворів тарілки.

Супротив паро-рідинного шара в тарілці:

$$\Delta p_{np} = 1,3 h_{np} \rho_{np} g k;$$

Висота паро-рідинного шара:

$$h_{np} = h_n + \Delta h;$$

Величина Δh - висота шара над зливною перегородкою розраховуємо по формулі:

$$\Delta h = \left(\frac{V_p}{1,85 \Pi k} \right)^{\frac{2}{3}};$$

$$V_p = \frac{G_D R M_{cp}}{M_D \rho_p} = \frac{2525 \cdot 1,83 \cdot 81,4}{3600 \cdot 78,5 \cdot 800} = 0,00167 \text{ м}^3 / \text{с};$$

Де $M_{cp} = 0,758 \cdot 78 + 0,244 \cdot 92 = 81,4$ - середня мольна маса рідини кг/моль.

Периметр зливної перегородки Π знаходимо, вирішуючи систему рівнянь:

$$\left(\frac{\Pi}{2} \right)^2 + (R - b)^2 = R^2;$$

$$0,1 \pi R^3 = \frac{2}{3} \Pi b;$$

$R = 0,9$ м – радіус тарілки; $\frac{2}{3} \Pi b$ - наближене значення площі сегмента.

Рішення дає: $\Pi = 1,32$ м; $b = 0,289$ м.

Знаходимо Δh :

$$\Delta h = \left(\frac{V_p}{1,85 \Pi k} \right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{0,00167}{1,85 \cdot 1,32 \cdot 0,5} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,0123 \text{ м};$$

Висота в паро-рідинному шарі на тарілці:

$$\Delta h_{np} = h_{\Pi} + \Delta h = 0,04 + 0,0123 = 0,0523 \text{ м};$$

Опір паро-рідинного шара:

$$\Delta p_{np} = 1,3 h_{np} k \rho_p g = 1,3 \cdot 0,0523 \cdot 0,5 \cdot 800 \cdot 9,81 = 266 \text{ Па};$$

					ЛНЗ11МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальний гідравлічний опір тарілки у верхній частині колони:

$$\Delta p' = \Delta p_{\text{сyx}} + \Delta p_0 + \Delta p_{np} = 138 + 20,5 + 266 = 425 \text{ Па};$$

б) Нижня частина колони:

$$\Delta p_{\text{сyx}} = \frac{1,82 \cdot 7,5^2 \cdot 2,82}{2} = 144 \text{ Па};$$

$$\Delta p_0 = \frac{4 \cdot 18,8 \cdot 10^{-3}}{0,004} = 18,8 \text{ Па};$$

($18,8 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$ - поверхневий натяг рідини при $t_{\text{cp}} = 103^\circ \text{C}$);

$$M_F = 0,542 \cdot 78 + 0,458 \cdot 92 = 84,4 \text{ кг / моль};$$

$$M_{\text{cp}} = 0,283 \cdot 78 + 0,717 \cdot 92 = 88 \text{ кг / моль};$$

$$V_p = \left(\frac{G_D R}{M_D} + \frac{G_F}{M_F} \right) \frac{M_{\text{cp}}}{\rho_p} = \left(\frac{2525 \cdot 1,83}{78,5} + \frac{5000}{84,4} \right) \frac{88}{3600 \cdot 800} = 0,0036 \text{ м}^3 / \text{с};$$

$$\Delta h = \left(\frac{0,0036}{1,85 \cdot 1,32 \cdot 0,5} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,02 \text{ м};$$

$$\Delta h_{np} = 0,04 + 0,02 = 0,06 \text{ м};$$

$$\Delta p_{np} = 1,3 \cdot 0,06 \cdot 0,5 \cdot 800 \cdot 9,81 = 306 \text{ Па};$$

Загальний гідравлічний опір тарілки нижньої частини колони:

$$\Delta p'' = 144 + 18,8 + 306 = 467 \text{ Па};$$

Повинна виконуватись умова:

$$h > 1,8 \frac{\Delta p}{\rho_p g};$$

$$h = 0,3 \text{ м},$$

$$1,8 \frac{\Delta p}{\rho_p g} = \frac{1,8 \cdot 467}{800 \cdot 9,81} = 0,107 \text{ м}.$$

$0,3 > 0,107$, отже умова виконується.

Перевірка рівномірності роботи тарілок:

$$\omega_{0\text{мін}} = 0,67 \sqrt{\frac{g \rho_p h_{np}}{\zeta p_{II}}} = 0,67 \sqrt{\frac{9,81 \cdot 800 \cdot 0,06}{1,82 \cdot 2,82}} = 6,4 \text{ м / с}.$$

Отже, тарілки будуть працювати всіма отворами.

4.4 Визначення числа тарілок та висоти колони

Метою розрахунку є визначення висоти колони та числа тарілок.

Вихідні дані:

Продуктивність G , т/год	5;
Вихідна суміш бензолу, %	45;
Вихідна суміш толуолу, %	55;
Кількість бензолу в дистиляті, %	97;
Тиск нагрівального пара $p_{\text{нп}}$, МПа	0,3;
Залишок толуолу в кубовому залишку, %	98%;

Методика проведення даного розрахунку складена згідно [14].

За діаграмою знаходимо кількість ступенів змінення концентрації n_T .

На рисунку 4.3 зображений графік побудови кривої рівноваги.

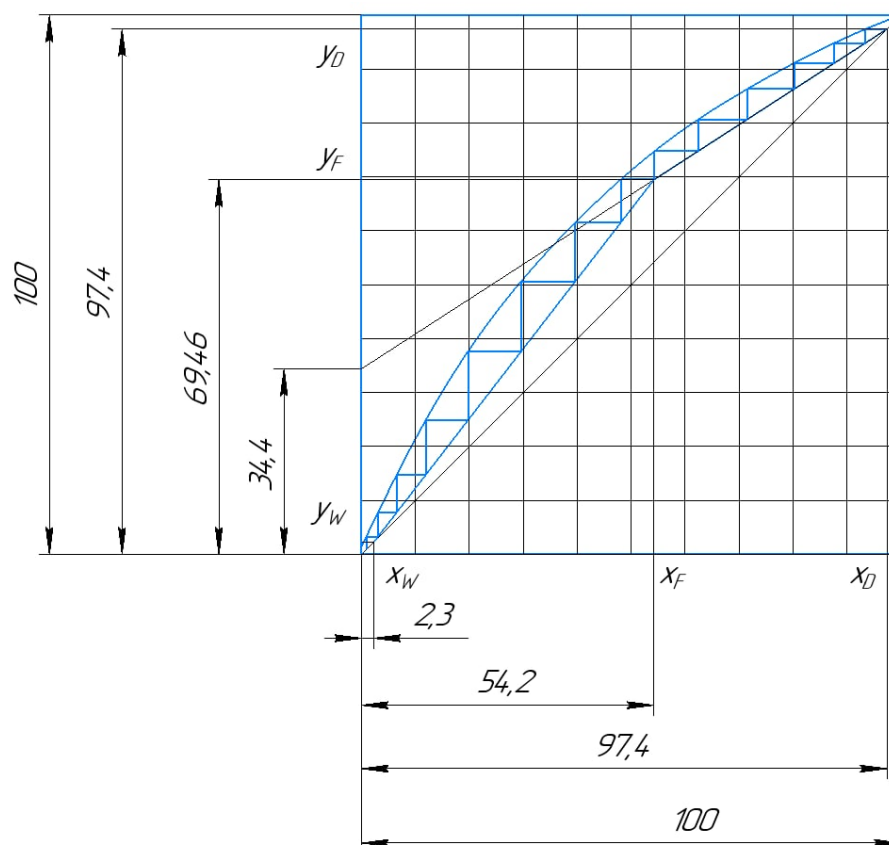


Рисунок 4.3 – Графік побудови кривої рівноваги

У верхній частині колони: $n'_T \approx 7$;

У нижній частині колони: $n''_T \approx 8$;

Всього 15 ступенів.

Число тарілок знаходимо використовуючи рівняння:

$$n = \frac{n_T}{\eta};$$

Коефіцієнт відносної летючості:

$$\alpha = \frac{P_6}{P_T};$$

При $t = 97^\circ \text{C}$, $P_6 = 1204 \text{ мм рт. ст.}$, толуола $P_T = 492,5 \text{ мм рт. ст.}$, звідки:

$$\alpha = \frac{1204}{492,5} = 2,45;$$

Динамічний коефіцієнт в'язкості бензолу при 97°C дорівнює 0,27 сП, толуолу 0,29 сП. Приймаємо динамічний коефіцієнт в'язкості вихідної суміші $\mu = 0,28 \text{ сП} = 0,28 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

Тоді

$$\alpha \mu = 2,45 \cdot 0,28 = 0,685;$$

По графіку $\eta = 0,53$. Довжина шляху рідини на тарілці:

$$l = D - 2b = 1,8 - 2 \cdot 0,289 = 1,22 \text{ м};$$

Середній ККД тарілок знаходимо по рівнянню:

$$\eta_l = \eta(1 + \Delta) = 0,53(1 + 0,105) = 0,59;$$

Для порівняння розрахуємо середній ККД тарілки η_0 по критеріальній формулі, отриманій шляхом статичної обробки багаточисельних дослідних даних для ковпакових та сіткових тарілок:

$$\eta_0 = 0,068 K_1^{0,1} \cdot K_2^{0,115};$$

В цій формулі безрозмірні комплекси:

$$K_1 = \frac{\text{Re}_\Pi}{\text{Se}_s} \text{Pr}'_p \frac{\mu_\Pi}{\mu_p} = \frac{\omega h_\Pi \rho_\Pi}{S_{св} \mu_\Pi} \frac{\mu_p}{\rho_p D_p} \frac{\mu_\Pi}{\mu_p} = \frac{\omega h_\Pi \rho_\Pi}{S_{св} \rho_p D_p};$$

$$K_2 = \frac{\text{Re}_\Pi}{\text{We}} \text{Pr}'_p \frac{v_\Pi}{v_p} = \frac{\omega h_\Pi \sigma}{v_\Pi \rho_p \omega^2} \frac{v_p v_\Pi}{h_\Pi D_p v_p} = \frac{\sigma}{\omega \rho_p D_p};$$

Попередній розрахунок коефіцієнта дифузії D_p :

$$D_p = 7,4 \cdot 10^{-12} \frac{(\beta\mu)^{0,5} T}{\mu_p \nu^{0,5}}.$$

У нашому випадку:

$$\beta = 1;$$

$$\mu_p = 0,28;$$

$$c\Pi = 0,28 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$M = M_F = 84,4 \text{ кг} / \text{моль};$$

$$\nu = 6 \cdot 14,8 + 6 \cdot 3,7 - 15 = 96;$$

$$T = 96 + 273 = 369 \text{ К}.$$

Коефіцієнт дифузії:

$$D_p = \frac{7,4 \cdot 10^{-12} \cdot 84,4^{0,5} \cdot 369}{0,28 \cdot 96^{0,6}} = 5,8 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2 / \text{с}.$$

Безрозмірні комплекси:

$$K_1 = \frac{\omega h_{\Pi} \rho_{\Pi}}{S_{св} \rho_p D_p} = \frac{0,6 \cdot 0,04 \cdot 2,77}{0,08 \cdot 800 \cdot 5,8 \cdot 10^{-9}} = 1,79 \cdot 10^5;$$

$$K_2 = \frac{\sigma}{\omega \rho_p D_p} = \frac{19,7 \cdot 10^{-3}}{0,6 \cdot 800 \cdot 5,8 \cdot 10^{-9}} = 0,71 \cdot 10^4;$$

Середній ККД тарілки:

$$\eta_0 = 0,068 K_1^{0,1} \cdot K_2^{0,115} = 0,068 (1,79 \cdot 10^5)^{0,1} (0,71 \cdot 10^4)^{0,115} = 0,63;$$

Що близько до знайденого значення η_l .

Число тарілок:

В верхній частині колони:

$$n' = \frac{n'_T}{\eta_l} = \frac{7}{0,59} = 12;$$

В нижній частині колони:

$$n'' = \frac{n''_T}{\eta_l} = \frac{8}{0,59} = 14;$$

Загальне число тарілок $n = 26$, з запасом $n = 30$, із них у верхній частині колони 12 і в нижній частині 14 тарілок.

Висота тарільчатої частини колони:

$$H_T = (n-1)h = (30-1) \cdot 0,3 = 8,7 \text{ м};$$

					ЛНЗ11МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальний гідравлічний опір тарілки:

$$\Delta p = \Delta p' n_g + \Delta p'' n_g = 461 \cdot 14 + 532 \cdot 16 = 14950 \text{ Па} \approx 0,15 \text{ кгс / см}^2;$$

4.5 Тепловий розрахунок установки

Метою роботи є провести тепловий розрахунок тарілчастої ректифікаційної колони.

Вихідні дані:

Продуктивність G, т/год	5;
Вихідна суміш бензолу, %	45;
Вихідна суміш толуолу, %	55;
Кількість бензолу в дистиляті, %	97;
Тиск нагрівального пара $p_{\text{нп}}$, МПа	0,3;
Залишок толуолу в кубовому залишку, %	98%;

Методика проведення даного розрахунку складена згідно [14].

Витрати тепла, яка віддається охолоджуючій воді в дефлегматорі-конденсаторі, знаходимо по рівнянню:

$$Q_D = G_D (1 + R) r_D = \frac{2525}{3600} (1 + 1,83) \cdot 395 \cdot 10^3 = 784050 \text{ Вт};$$

де

$$r_D = x_D r_o + (1 - x_D) r_T = 0,974 \cdot 392,4 \cdot 10^3 + 0,04 \cdot 377,8 \cdot 10^3 = 395 \cdot 10^3 \text{ Дж / кг};$$

Витрати тепла, отриманого в кубі-випарнику від нагрівального пара знаходимо по рівнянню:

$$\begin{aligned} Q_K &= Q_D + G_D c_D t_D + G_W c_W t_W - G_P c_F t_F + Q_{\text{от}} = \\ &= 1,03 \left(784050 + \frac{2525}{3600} 0,46 \cdot 4190 \cdot 82 + \frac{2475}{3600} 0,45 \cdot 4190 \cdot 109 - \frac{5000}{3600} 0,455 \cdot 4190 \cdot 91,5 \right) = \\ &= 817740 \text{ Вт}; \end{aligned}$$

Витрати тепла в паровому підігрівачі вихідної суміші:

$$Q_d = 1,05 G_F c_F (t_F - t_{\text{ноч}}) = 1,05 \frac{5000}{3600} 0,425 \cdot 4190 (91,5 - 18) = 190900 \text{ Вт};$$

Витрати тепла, у водяному холодильнику дистиляту:

$$Q = G_D c_D (t_D - t_{кин}) = \frac{2525}{3600} 0,43 \cdot 4190 (82 - 25) = 72000 \text{ Вт};$$

Витрати тепла в водяному холодильнику кубового залишку:

$$Q = G_W c_W (t_W - t_{кин}) = \frac{2475}{3600} 0,425 \cdot 4190 (109 - 25) = 102840 \text{ Вт};$$

Витрати нагрівального пара:

а) в кубі-випарнику:

$$G_{г.н} = \frac{Q_K}{r_{г.н} \chi} = \frac{817740}{2141 \cdot 10^3 \cdot 0,95} = 0,4 \text{ кг / с};$$

Де $r_{г.н} = 2141 \cdot 10^3 \text{ Дж / кг}$ - питома теплота конденсацію нагрівального пара;

б) в нагрівачі вихідної суміші:

$$G_{г.н} = \frac{190900}{2141 \cdot 10^3 \cdot 0,95} = 0,09 \text{ кг / с};$$

Всього: $0,4 + 0,09 = 0,49 \text{ кг/с}$ або $1,85 \text{ т/год.}$

Витрати охолоджувальної води при нагріві на 20°C :

а) у дефлегматорі

$$V_6 = \frac{Q_D}{c_6 (t_{кин} - t_{поч}) \rho_6} = \frac{784050}{4190 \cdot 20 \cdot 1000} = 0,0094 \text{ м}^3 / \text{с};$$

б) у водяному холодильнику дистиляту:

$$V_6 = \frac{72000}{4190 \cdot 20 \cdot 1000} = 0,00086 \text{ м}^3 / \text{с};$$

в) у водяному холодильнику кубового залишку:

$$V_6 = \frac{102840}{4190 \cdot 20 \cdot 1000} = 0,0012 \text{ м}^3 / \text{с};$$

Всього $0,0115 \text{ м}^3 / \text{с}$ або $41,5 \text{ м}^3 / \text{год.}$

4.6 Розрахунок еліптичного днища, кришки

Метою даного розрахунку є визначення товщин стінок днища та кришки під дією внутрішнього тиску.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.4.

Розрахунок виконано за методикою [15].

					ЛНЗ11МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

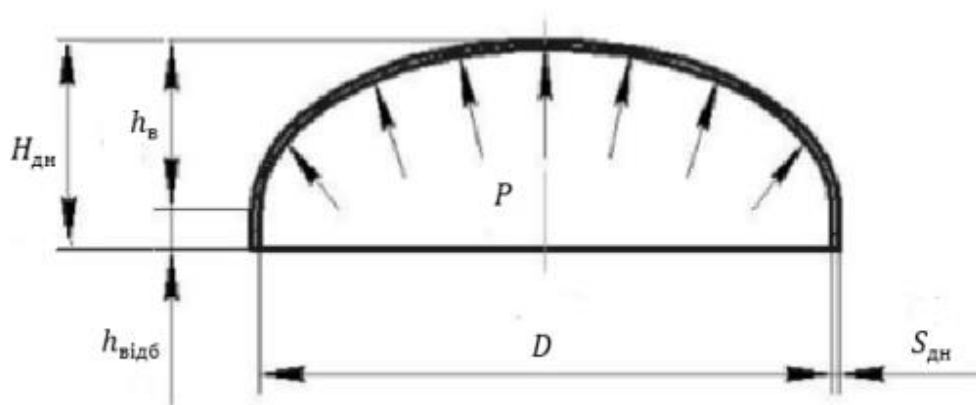


Рисунок 4.4 – Розрахункова схема для визначення товщини еліптичного днища

Вихідні дані:

Діаметр колони, м, D	1,4
Тиск в колоні, МПа, P	0,3
Густина рідкої фази в колоні, кг/м ³ , $\rho_{ж}$	720
Робоча висота колони, м, H_p	8,7
Матеріал	12X18H10T

Приймаємо, що днище і кришка будуть однаковими, тоді розрахунок для них буде однаковим. Таким чином розрахуємо товщину для днища, а потім прирівняємо значення і для кришки.

Так як було прийнято використати еліптичне днище, то $R = D = 1,4$ м.

Висота днища:

$$H_{дн} = H_{кр} = 0,25 \cdot D + h_{відб} = 0,25 \cdot 1,4 + 0,025 = 0,375 \text{ м,}$$

де $h_{відб} = 25$ мм – висота відбортовки для еліптичних днищ і кришок.

Перед початком розрахунку перевіримо вплив гідростатичного тиску.

Якщо $\frac{\rho_{ж} g (H_p + 2H_{дн})}{P} > [0,05]$, тоді використовується розрахунковий тиск з

врахуванням гідралічного тиску.

Так як:

$$\frac{\rho_{ж} g (H_p + 2H_{дн})}{P} = \frac{720 \cdot 9,81 \cdot (8,7 + 2 \cdot 0,375)}{0,3 \cdot 10^6} = 0,22 > [0,05],$$

Розрахунковий тиск:

$$P_R = P + \rho_{\text{ж}} g (H_P + 2H_{\text{дн}}) = 0,3 + 720 \cdot 9,81 \cdot (8,7 + 2 \cdot 0,375) = 0,66 \text{ МПа}$$

Розрахункова товщина еліптичного днища:

$$S_R = \frac{P_R R}{2[\sigma]\varphi - 0,5P_R} = \frac{0,66 \cdot 1,4}{2 \cdot 133 \cdot 0,9 - 0,5 \cdot 0,66} = 0,0038 \text{ м},$$

де $[\sigma] = 133 \text{ МПа}$ – границя плинності при $t = 277,5^\circ\text{C}$ [15] для матеріалу 12X18H10T; $\varphi = 0,9$ – коефіцієнт, що враховує дію зварного шва за ГОСТом 14249-89.

При виборі товщини стінки потрібно врахувати прибавку:

$$C = C_1 + C_2 + C_3,$$

де C_1 – прибавка на компенсацію корозії; C_2 – прибавка на компенсацію мінусового відхилення по товщині листа; C_3 – технологічна прибавка.

Оскільки середня швидкість корозії $v_{\text{кор}} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ м/рік}$, то

$$C_1 = v_{\text{кор}} \tau = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 10 = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

де $\tau = 10$ років.

Прибавку до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску і технологічний додаток знаходимо за [18]:

$$C_2 = 0,5 \text{ мм}; C_3 = 0$$

Умова вибору товщини стінки:

$$S_{\text{дн}} \geq S_R + C = 3,8 + (0,5 + 0,5 + 0) = 4,8 \text{ мм}$$

Приймаємо $S_{\text{дн}} = 5 \text{ мм}$, так як це мінімальна допустима товщина стінки при $D = 1,4 \text{ м}$.

Виконаємо перевірку на міцність.

Допустимий тиск:

$$[P]_{\text{дн}} = \frac{2[\sigma]\varphi(S_{\text{дн}} - C)}{R + 0,5(S_{\text{дн}} - C)} = \frac{2 \cdot 133 \cdot 10^6 \cdot 0,9(5 - 1) \cdot 10^{-3}}{1,4 + 0,5(5 - 1) \cdot 10^{-3}} = 0,683 \text{ МПа},$$

					ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P \leq [P]_{\text{дн}}$$

$$0,66 \text{ МПа} \leq [0,683 \text{ МПа}]$$

Отже, умова міцності виконується.

Тоді підбираємо днище типу 530-10 по ГОСТу 6533-78.

Днище 1400-5-25-12X18Н10Т

з розмірами: $D_{\text{дн}} = 1400 \text{ мм}$, $S_{\text{дн}} = 5 \text{ мм}$, $h_{\text{в}} = 250 \text{ мм}$, $h_{\text{відб}} = 25 \text{ мм}$.

та параметрами: $f_{\text{дн}} = 1,16 \text{ м}^2$, $V_{\text{дн}} = 149,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, $m_{\text{дн}} = 46,2 \text{ кг}$.

Аналогічно кришка має ті ж розміри та параметри.

Кришка 1400-5-25-12X18Н10Т

з розмірами: $D_{\text{кр}} = 1400 \text{ мм}$, $S_{\text{кр}} = 5 \text{ мм}$, $h_{\text{в}} = 250 \text{ мм}$, $h_{\text{відб}} = 25 \text{ мм}$.

та параметрами: $f_{\text{кр}} = 1,16 \text{ м}^2$, $V_{\text{кр}} = 149,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, $m_{\text{кр}} = 46,2 \text{ кг}$.

Висновок: розраховано товщини стінок днища та кришки, які задовільняють умову міцності. Обрано стандартне еліптичне днище з товщини стінки 5 мм, аналогічно еліптичну кришку з товщиною стінки також 5 мм.

4.7 Розрахунок циліндричної частини колони

Метою даного розрахунку є визначення товщини стінки циліндричної частини колони під дією внутрішнього тиску.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.5.

Розрахунок виконано за методикою [15].

Вихідні дані:

Діаметр колони, м, D	1,4
Робочий тиск в колоні, МПа, P	0,66
Матеріал	12X18Н10Т
Границя плинності матеріалу, МПа, $[\sigma]$	133

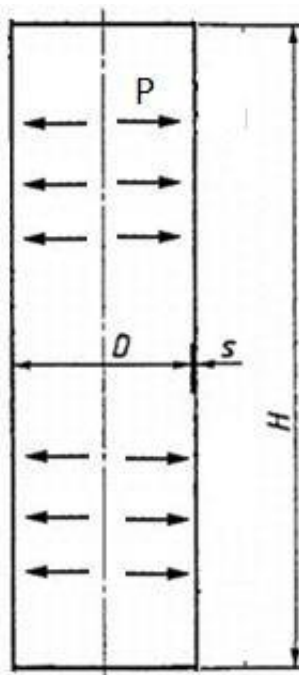


Рисунок 4.5 – Розрахункова схема циліндричної частини колони

Розрахункова товщина стінки, м:

$$S_R = \frac{P_R D}{2[\sigma]\varphi - P_R} \quad (4.1)$$

де $\varphi = 0,9$ – коефіцієнт, що враховує дію зварного шва за [16].

Прибавки до товщини стінки циліндричної частини розраховуються аналогічно до прибавок до товщини стінки днища, тому можна використати результат, отриманий раніше:

$$C = 1 \text{ мм}$$

Товщина стінки приймається з умови, м:

$$S_{k \min} = S_R + C \quad (4.2)$$

З умови $S_k \geq S_{k \min}$ приймаємо $S_k = 5 \text{ мм}$.

Виконаємо перевірку на міцність.

Допустимий тиск, МПа:

$$[P]_k = \frac{2[\sigma]\varphi(S_k - C)}{D + (S_k - C)} \quad (4.3)$$

Перевірка умови міцності:

$$P \leq [P]_k$$

Якщо умова не виконується, то необхідно вибрати іншу товщину стінки або вибрати інший матеріал з більшим допустимим напруженням.

До методики розрахунку створено програму розрахунку товщини стінки циліндричної обичайки навантаженої внутрішнім тиском, складено блок схему, програму розрахунку в програмі MathCad, таблицю ідентифікаторів та зазначені результати програмного розрахунку (Додаток Г).

Висновок: було прийнято товщину стінки циліндричної частини колони 5 мм.

4.8 Перевірка колони на стійкість та міцність

Метою розрахунку є перевірка відпарної ректифікаційної колони на стійкість і міцність при робочих умовах та під час випробування.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.6.

Розрахунок ведеться за [16].

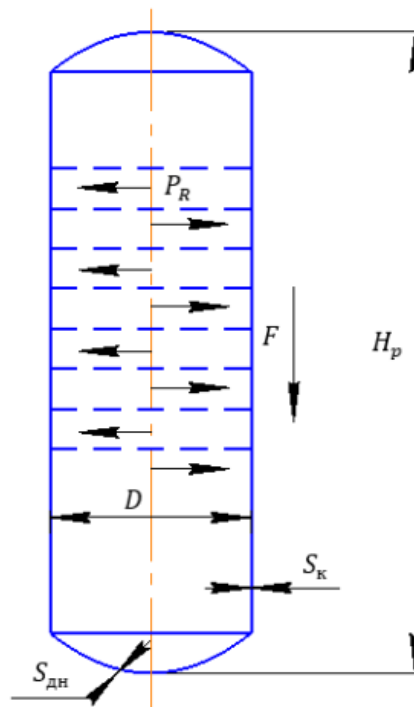


Рисунок 4.6 – Розрахункова схема для перевірки на стійкість та міцність

Вихідні дані

Діаметр колони, м, D	1,4
Розрахунковий тиск в колоні, МПа, P_R	0,66
Матеріал	12X18H10T
Робоча висота колони, м, H_p	8,7
Товщина стінки циліндричної частини колони, м, S_k	0,005
Товщина стінки днища, м, $S_{дн}$	0,005
Прибавка на товщину стінки, м, C	0,001
Коефіцієнт зварного шва, φ	0,9

5.8.1 Розрахунок маси колони

Для подальших розрахунків спочатку визначимо масу колони в робочих умовах та під час випробування.

Маса корпусу колони:

$$m_k = m_{ц} + 2 m_{дн} + m_{нв},$$

де $m_{ц}$ – маса циліндричної частини колони, кг;

$m_{дн}$ – маса днища, кг;

$m_{нв}$ – маса неврахованих вузлів колони (10%).

$$m_{ц} = \rho V_k = \rho \pi D S_k H_p = 7850 \cdot 3,14 \cdot 1,4 \cdot 0,005 \cdot 8,7 = 1501 \text{ кг},$$

де $\rho = 7850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – густина матеріалу 12X18H10T при $t = 277,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$m_{дн} = m_{кр} = 64,7 \text{ кг}$$

$$m_{нв} = 0,1(m_{ц} + 2 m_{дн}) = 0,1(1501 + 2 \cdot 64,7) = 163 \text{ кг}$$

Тоді маса корпусу колони:

$$m_k = 1501 + 2 \cdot 64,7 + 163 = 1793,4 \text{ кг}$$

Маса ізоляції:

$$m_{із} = V_{із} \rho_{із} = F S_{із} \rho_{із} = 27,63 \cdot 0,125 \cdot 300 = 1036 \text{ кг},$$

де $F = 27,63 \text{ м}^2$ – площа поверхні теплообміну;

$S_{із} = 0,125 \text{ м}$ – товщина стінки ізоляції;

					ЛНЗ11МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\rho_{\text{із}} = 300 \text{ кг/м}^3$ – густина азбестової ізоляції.

Знаючи, що маса однієї тарілки становить: $m_{\text{т}} = 113 \text{ кг}$ і кількість тарілок $N_{\text{т}} = 30$, тоді маса блоку тарілок:

$$m_{\text{бт}} = m_{\text{т}} N_{\text{т}} = 113 \cdot 30 = 3390 \text{ кг}$$

Маса рідини в робочих умовах:

$$m_{\text{рр}} = m_{\text{р}} N_{\text{т}} = V_{\text{р}} \rho_{\text{ж}} N_{\text{т}} = h_{\text{р}} \frac{\pi D_{\text{т}}^2}{4} \rho_{\text{ж}} N_{\text{т}} = 0,06 \frac{3,14 \cdot 0,92^2}{4} 720 \cdot 30 = 861 \text{ кг},$$

врахувавши, що $h_{\text{р}} = 0,06 \text{ м}$ – висота рівня рідини на тарілці; $D_{\text{т}} = 0,92 \text{ м}$ – діаметр тарілки, заповненої рідиною; $\rho_{\text{ж}} = 720 \text{ кг/м}^3$ – густина рідкої фази.

Маса рідини під час випробування:

$$m_{\text{рв}} = (V_{\text{ц}} + 2V_{\text{дн}}) \rho_{\text{ж}} = \left(\frac{\pi D^2}{4} H_{\text{р}} + 2V_{\text{дн}} \right) \rho_{\text{ж}} = \left(\frac{3,14 \cdot 1,4^2}{4} 8,7 + 2 \cdot 149,9 \cdot 10^{-3} \right) 720 = 9854 \text{ кг},$$

де $V_{\text{дн}} = 149,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ – об'єм, який вміщується в днищі.

Отже, маса колони в робочих умовах становить:

$$m_{\text{р.у.}} = m_{\text{к}} + m_{\text{із}} + m_{\text{бт}} + m_{\text{рр}} = 1793,4 + 1036 + 3390 + 861 = 7080,4 \text{ кг}$$

Маса колони під час випробування:

$$m_{\text{у.в.}} = m_{\text{к}} + m_{\text{із}} + m_{\text{бт}} + m_{\text{рв}} = 1793,4 + 1036 + 3390 + 9854 = 16073,4 \text{ кг}$$

5.8.2 Перевірка колони на стійкість в робочих умовах

Власне навантаження спричиняє стискаючу силу:

$$F = m_{\text{р.у.}} g = 7080,4 \cdot 9,81 = 69460 \text{ Н} = 0,0694$$

$$\begin{aligned} [F]_{E_1} &= \frac{310 \cdot 10^{-6} E}{n_y} D^2 \left[\frac{100(S_k - C)}{D} \right]^{2,5} = \\ &= \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot 1,92 \cdot 10^5 \cdot 10^6}{2,4} \cdot 1,4^2 \left[\frac{100(5-1) \cdot 10^{-3}}{1,4} \right]^{2,5} = 2120000 \text{ Н} = 2,12 \text{ МН}, \end{aligned}$$

де $E = 1,92 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ – модуль Юнга при $t = 277,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Допустима стискаюча сила з умов втрати місцевої стійкості:

$$\lambda = \frac{2,83 H_{\text{р}}}{D + (S_k - C)} = \frac{2,83 \cdot 8,7}{1,4 + (5-1) \cdot 10^{-3}} = 17,53$$

					ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$[F]_{E_2} = \frac{\pi(D + S_k - C)(S_k - C)E}{n_y} \left(\frac{\pi}{\lambda} \right)^2 =$$

$$= \frac{3,14(1,4 + (5-1) \cdot 10^{-3})(5-1) \cdot 10^{-3} \cdot 1,92 \cdot 10^5 \cdot 10^6}{2,4} \left(\frac{3,14}{17,53} \right)^2 = 45200000 = 45,2 \text{ МН}$$

Визначаємо допустиму стискаючу силу:

$$[F]_E = \min\{[F]_{E1}, [F]_{E2}\} = \min\{2,12; 45,2\} = 2,12 \text{ МН}$$

Допустима стискаюча сила з умов міцності:

$$[F]_M = \pi(D + S_k - C)(S_k - C)[\sigma]\varphi =$$

$$= 3,14 \cdot (1,4 + (5 - 1) \cdot 10^{-3})(5 - 1) \cdot 10^{-3} \cdot 133 \cdot 10^6 \cdot 0,9 =$$

$$= 2110022 \text{ Н} = 2,11 \text{ МН}$$

Загальна допустима стискаюча сила визначається без врахування тиску, так як колона працює під внутрішнім тиском:

$$[F] = \frac{[F]_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_M}{[F]_E} \right)^2}} = \frac{2,11}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,11}{2,12} \right)^2}} = 1,5 \text{ МН}$$

Перевірка:

$$\frac{F}{[F]} = \frac{0,0694}{1,5} = 0,046 < [1].$$

Отже, умова стійкості при робочих умовах виконується.

4.8.3 Перевірка колони на стійкість під час випробувань

Схема розрахунку на перевірку аналогічна.

$$F = m_{y.b.}g = 16073,4 \cdot 9,81 = 157680 \text{ Н} = 0,157 \text{ МН}$$

$$[F]_{E_1} = \frac{310 \cdot 10^{-6} E}{n_y} D^2 \left[\frac{100(S_k - C)}{D} \right]^{2,5} =$$

$$= \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 10^6}{2,4} \cdot 1,4^2 \left[\frac{100(5-1) \cdot 10^{-3}}{1,4} \right]^{2,5} = 2200936 \text{ Н} = 2,2 \text{ МН},$$

де $E = 2 \cdot 10^5$ МПа – модуль Юнга при $t = 277,5$ °С.

Допустима стискаюча сила з умов втрати місцевої стійкості:

$$\lambda = \frac{2,83H_p}{D + (S_k - C)} = \frac{2,83 \cdot 8,7}{1,4 + (5-1) \cdot 10^{-3}} = 17,53$$

$$[F]_{E_2} = \frac{\pi(D + S_k - C)(S_k - C)E \left(\frac{\pi}{\lambda} \right)^2}{n_y} =$$

$$= \frac{3,14(1,4 + (5-1) \cdot 10^{-3})(5-1) \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \left(\frac{3,14}{17,53} \right)^2}{2,4} = 47148892 = 47,1 \text{ МН}$$

Визначаємо допустиму стискаючу силу:

$$[F]_E = \min\{[F]_{E1}, [F]_{E2}\} = \min\{2,2; 47,1\} = 2,2 \text{ МН}$$

Допустима стискаюча сила з умов міцності:

$$[F]_M = \pi(D + S_k - C)(S_k - C)[\sigma]\varphi =$$

$$= 3,14 \cdot (1,4 + (5-1) \cdot 10^{-3})(5-1) \cdot 10^{-3} \cdot 160 \cdot 10^6 \cdot 0,9 =$$

$$= 2539330 \text{ Н} = 2,54 \text{ МН}$$

Загальна допустима стискаюча сила визначається без врахування тиску, так як колона працює під внутрішнім тиском:

$$[F] = \frac{[F]_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_M}{[F]_E} \right)^2}} = \frac{2,54}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,54}{2,2} \right)^2}} = 1,66 \text{ МН}$$

Перевірка:

$$\frac{F}{[F]} = \frac{0,157}{1,66} = 0,094 < [1].$$

Отже, умова стійкості під час випробувань виконується.

4.8.4 Перевірка колони на міцність через напруження

Напруження в плоскій стінці:

$$\sigma_t = \frac{P_R D}{2S_k} = \frac{0,66 \cdot 1,4}{2 \cdot 0,005} = 92,4 \text{ МПа}$$

$$\sigma_t = \frac{P_R D}{4S_k} = \frac{0,66 \cdot 1,4}{4 \cdot 0,005} = 46,2 \text{ МПа}$$

$$\sigma_r = -P_R = -0,66 \text{ МПа}$$

Визначимо еквівалентне напруження за дотичними напруженнями (третя теорія):

$$\sigma_{\text{екв}} = \sigma_t - \sigma_r = 92,4 - (-0,66) = 93,06 \text{ МПа}$$

Перевірка:

$$\sigma_{\text{екв}} < [\sigma] \varphi \quad 93,06 \text{ МПа} < [133 \text{ МПа} \cdot 0,9 = 119,7 \text{ МПа}]$$

Отже, умова міцності за напруженнями виконується.

4.8.5 Перевірка напружень в еліптичному днищі

Напруження:

$$\sigma_x = \frac{P_R (D + S_{\text{дн}})}{4(S_{\text{дн}} - C)} = \frac{0,66 \cdot (1,4 + 0,005)}{4 \cdot (0,005 - 0,001)} = 57,95 \text{ МПа},$$

$$\sigma_y = \frac{P_R (D + S_{\text{дн}})}{2(S_{\text{дн}} - C)} = \frac{0,66 \cdot (1,4 + 0,005)}{2 \cdot (0,005 - 0,001)} = 115,91 \text{ МПа}.$$

Визначимо еквівалентне напруження за критерієм найбільшої потенційної енергії:

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y} = \sqrt{57,95^2 + 115,91^2 - 57,95 \cdot 115,91} = 100 \text{ МПа}.$$

$$\sigma_{\text{екв}} < [\sigma] \varphi \quad 100 \text{ МПа} < [133 \text{ МПа} \cdot 0,9 = 119,7 \text{ МПа}]$$

Отже, умова міцності за напруженнями виконується.

Висновок: розраховано перевірку колони на стійкість в робочих умовах та під час випробувань. Умови стійкості виконуються. Перевірено колону та еліптичне днище на міцність через напруження. Умови міцності виконуються.

4.9 Розрахунок опорної обичайки

Метою розрахунку є перевірка опорної обичайки на міцність та стійкість.

Розрахункова схема зображена на рисунку 5.7.

Розрахунок виконаний відповідно до алгоритму наведеному у [17].

					ЛНЗ11МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вихідні дані:

Внутрішній діаметр опорної обичайки, D_0 , м	1,4
Виконавча товщина опорної обичайки S_0 , м	0,02
Сума додатків до розрахункової товщини стінки опорної обичайки C_0	0,001
Сумарний додаток на корозію до діаметра Фундаментного болта C_B	0,002
Діаметр кола фундаментних болтів D_6 , м	2,25

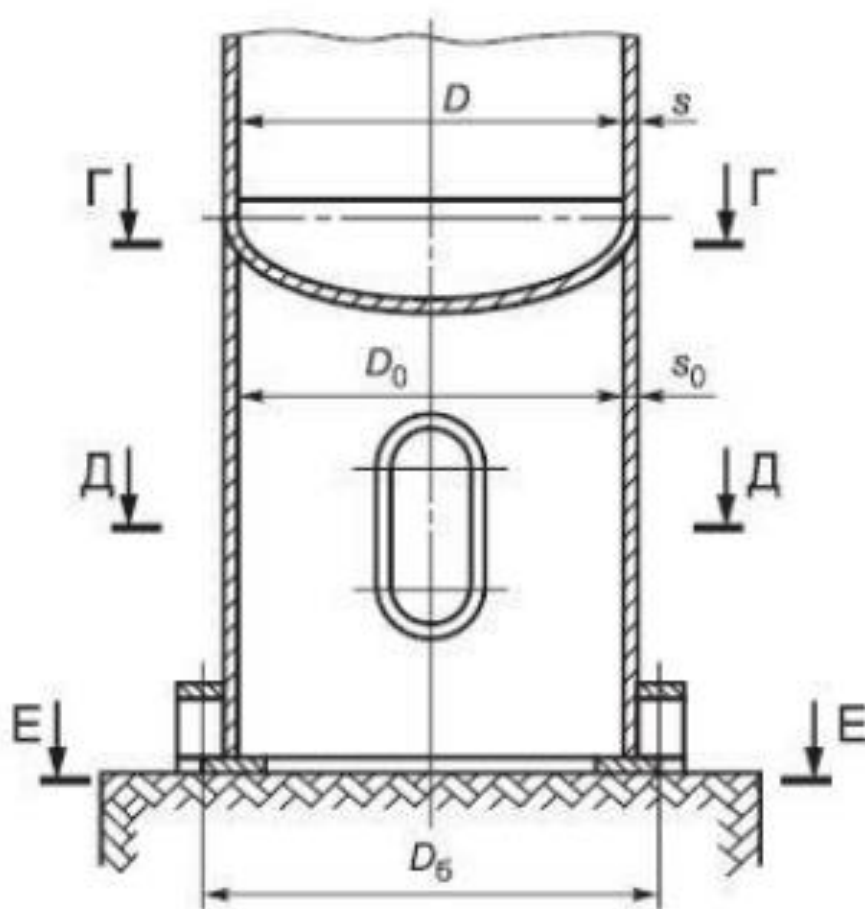


Рисунок 4.7 – Розрахункова схема до розрахунку дії вітрового навантаження

Допустиме напруження та модуль пружності матеріалу опорної обичайки $[\sigma]$, МПа:

$$[\sigma] = 177.7$$

Розрахункові навантаження, які діють на опорну обичайку

$$F = G = 659\,400;$$

$$M_{VR} = 3\,329\,000 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_V = 1\,379\,000 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M = M_G + \max(M_V, M_{VR}) = 0 + \max(1\,379\,000, 3\,329\,000) = 3\,329\,000$$

Загальне мембранне меридіональне напруження в опорній обичайці колонного апарата σ_{x1} , МПа:

$$\begin{aligned}\sigma_{x1} &= \frac{p \cdot (D_o + S_o)}{4 \cdot (S_o - C_o)} - \frac{F}{\pi \cdot D_o \cdot (S_o - C_o)} + \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D_o^2 \cdot (S_o - C_o)} = \\ &= \frac{-0.1 \cdot (1.4 + 0.02)}{4 \cdot (0.02 - 0.001)} - \frac{0.6594}{3.14 \cdot 1.4 \cdot (0.02 - 0.001)} + \frac{4 \cdot 3.3}{\pi \cdot 1.4^2 \cdot (0.02 - 0.001)} = \\ &= 103.\end{aligned}$$

Загальне мембранне меридіональне напруження в опорній обичайці колонного апарата, σ_{x2} , МПа:

$$\begin{aligned}\sigma_{x2} &= \frac{p \cdot (D_o + S_o)}{4 \cdot (S_o - C_o)} - \frac{F}{\pi \cdot D_o \cdot (S_o - C_o)} - \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D_o^2 \cdot (S_o - C_o)} = \\ &= \frac{-0.1 \cdot (1.4 + 0.02)}{4 \cdot (0.02 - 0.001)} - \frac{0.6594}{3.14 \cdot 1.4 \cdot (0.02 - 0.001)} - \frac{4 \cdot 1.379}{\pi \cdot 1.4^2 \cdot (0.02 - 0.001)} = \\ &= -60.\end{aligned}$$

Загальні мембранні кільцеві напруження σ_y , Па:

$$\sigma_y = \frac{p \cdot (D_o + S_o)}{2 \cdot (S_o - C_o)} = \frac{-0.1 \cdot (1.4(1.4 + 0.02))}{2 \cdot (0.02 - 0.001)} = -5.2.$$

Еквівалентні напруження в розрахунковому перерізі апарата на стороні, де згинальний момент викликає розтяг σ_{E1} , МПа:

$$\begin{aligned}\sigma_{E1} &= \max(|\sigma_{x1} - \sigma_y|, |\sigma_{x1}|, |\sigma_y|) = \max(|103 + 5.2|, |103|, |-5.2|) = \\ &= 108.2.\end{aligned}$$

Еквівалентні напруження в розрахунковому перерізі апарата на стороні, де згинальний момент викликає стиск σ_{E2} , МПа

$$\sigma_{E2} = \max(|\sigma_{x2} - \sigma_y|, |\sigma_{x2}|, |\sigma_y|) = \max(|-60 + 5.2|, |-60|, |-5.2|) = 60.$$

Умова міцності обичайки при спільній дії навантажень

$$\max(\sigma_{E1}, \sigma_{E2}) \leq 1.2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi;$$

$$\max(200, 2, 60) = 108.2 \leq 1.2 \cdot 177.7 \cdot 1 = 213.25;$$

$$108.2 \leq 213.25;$$

Умова міцності виконується.

Перевірка міцності зварного шва, що з'єднує корпус апарата з опорною обичайкою

$$\frac{1}{\pi \cdot D_o \cdot S_o} \cdot \left(\frac{4 \cdot M}{D_o} + F \right) < 0.8 \cdot [\sigma];$$

$$\frac{1}{3.14 \cdot 1.4 \cdot 0.02} \cdot \left(\frac{4 \cdot 3.3}{1.4} + 0.659 \right) < 0.8 \cdot 177.7;$$

$$114.7 < 142.17;$$

Умова міцності зварного шва виконується.

Перевірка умови для проведення розрахунку фундаментних болтів

$$M > 0.44 \cdot F \cdot D_6;$$

$$3.329 > 0.44 \cdot 0.659 \cdot 1.4;$$

$$3.329 > 0.4.$$

Необхідно проводити розрахунок діаметра і кількості фундаментних болтів

Коефіцієнт χ_6

Оскільки

$$\frac{F \cdot D_6}{M} = \frac{0.659 \cdot 1.4}{3.329} = 0.27 < 0.5,$$

то

$$\chi_6 = 2.25 + 0.3 \cdot \frac{F \cdot D_6}{M} = 2.25 + 0.3 \cdot \frac{0.659 \cdot 1.4}{3.329} = 2.33,$$

Кількість фундаментних болтів n

Конструктивно приймаємо $n = 8$.

Мінімальне значення умовної границі плинності за температури 20 °C

$R_{0.2}^{20}$, МПа

$$R_{0.2}^{20} = 165.6$$

					ЛНЗ11МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Допустиме напруження для фундаментних болтів при температурі 20 °С, $[\sigma]_B$, Мпа

$$n_T = 1.65$$

$$[\sigma]_B = \frac{R_{0.2}^{20}}{n_T} = \frac{165.6}{1.65} = 100.36$$

Внутрішній діаметр різьби фундаментних болтів d_6 , м

Оскільки

$$M > 0.44 \cdot F \cdot D_6;$$

$$3.329 > 0.44 \cdot 0.659 \cdot 1.4;$$

$$3.329 > 0.4,$$

то

$$d_6 = \chi_6 \cdot \sqrt{\frac{M - 0.44 \cdot F \cdot D_6}{n \cdot [\sigma]_B \cdot D_6}} = \chi_6 \cdot \sqrt{\frac{3.329 - 0.44 \cdot 0.659 \cdot 1.4}{16 \cdot 100.36 \cdot 1.4}} = 0.04$$

Обираємо номінальний діаметр різьби

$$d_6 = 60\text{мм}$$

4.10 Вибір опори

Метою даного вибору є підбір стандартної опори за діаметром і вагою колони для встановлення її на фундамент.

Розрахункову схему зображено на рисунку 4.8.

Розрахунок ведеться по методиці, приведений в [18].

Вихідні дані

Діаметр колони, м, D	1,4
Маса колони в робочих умовах, кг, $m_{p.y.}$	7080,4
Маса рідини в робочих умовах, кг, m_{pp}	861
Маса колони під час випробування, кг, $m_{y.b.}$	16073,4
Вага колони в робочих умовах, МН, F	0,0694
Вага колони під час випробувань, МН, F	0,157

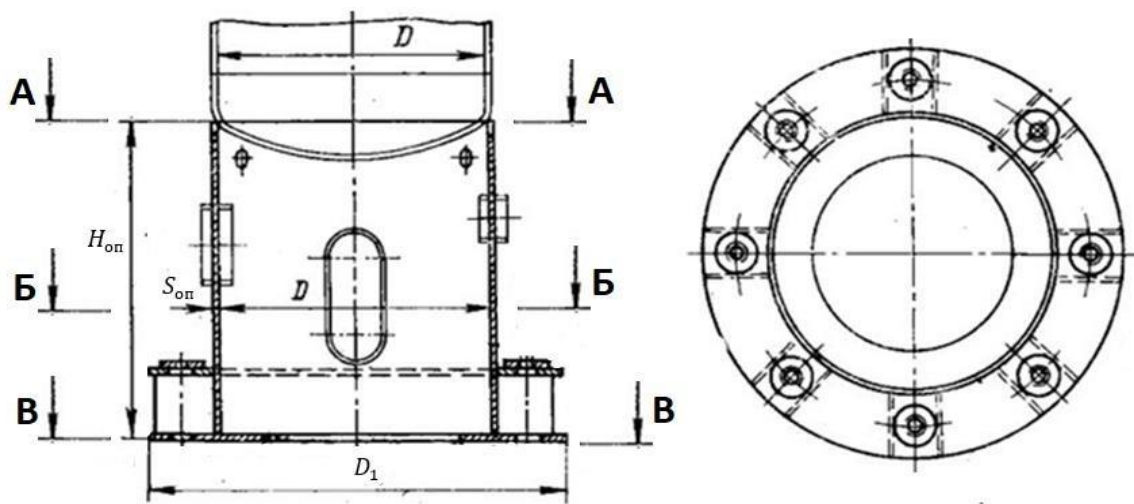


Рисунок 4.8 – Розрахункова схема опори

Навантаження порожнього апарату буде мінімальним:

$$Q_{min} = (m_{p.y.} - m_{pp})g = (7080,4 - 861) \cdot 9,81 = 61012 \text{ Н} = 0,06 \text{ МН}$$

Навантаження колони на опору під час випробування буде максимальним:

$$Q_{max} = m_{y.v.}g = 16073,4 \cdot 9,81 = 157680 \text{ Н} = 0,157 \text{ МН}$$

Приймаємо опору циліндричну, виконання Б. Зварний кільцевий шов знаходиться поза зони отвору.

За навантаженнями $Q_{min} = 0,06 \text{ МН}$ та $Q_{max} = 0,157 \text{ МН}$ обираємо опору 3 згідно ОСТ 26-467-84.

4.10.1 Перевірка опори на міцність та стійкість у робочих умовах

Перевірку на міцність виконаємо за першою теорією нормальних напружень.

$$\sigma_{екв} = \sigma_x = \frac{F_{p.y.}}{\pi D(S_{оп} - C)} = - \frac{0,0694}{3,14 \cdot 1,4(0,006 - 0,001)} = 3,15 \text{ МПа}$$

Врахувавши, що границя плинності для матеріалу Ст 3 при $t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ становить $[\sigma] = 140 \text{ МПа}$.

Умова міцності:

$$\sigma_{екв} < [\sigma]\varphi \quad 3,15 \text{ МПа} < [140 \text{ МПа} \cdot 0,9 = 126 \text{ МПа}]$$

					ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, умова міцності за напруженнями в робочих умовах виконується
Виконаємо перевірку на стійкість.

$$[F]_{E_1} = \frac{310 \cdot 10^{-6} E}{n_y} D^2 \left[\frac{100(S_{on} - C)}{D} \right]^{2,5} =$$

$$= \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot 1,99 \cdot 10^5 \cdot 10^6}{2,4} \cdot 1,4^2 \left[\frac{100(6-1) \cdot 10^{-3}}{1,4} \right]^{2,5} = 3840029 \text{ Н} = 3,8 \text{ МН},$$

де $E = 1,99 \cdot 10^5$ МПа – модуль Юнга для матеріалу Ст 3 при $t = 20$ °С.

Допустима стискаюча сила з умов втрати загальної стійкості:

$$\lambda = \frac{2,83 H_{on}}{D + (S_{on} - C)} = \frac{2,83 \cdot 1,2}{1,4 + (6-1) \cdot 10^{-3}} = 3,4$$

$$[F]_{E_2} = \frac{\pi(D + S - C)(S - C)E}{n_y} \left(\frac{\pi}{\lambda} \right)^2 =$$

$$= \frac{3,14(1,4 + (6-1) \cdot 10^{-3})(6-1) \cdot 10^{-3} \cdot 1,99 \cdot 10^5 \cdot 10^6}{2,4} \left(\frac{3,14}{3,4} \right)^2 = 1559980872 = 1560 \text{ МН}$$

Визначаємо допустиму стискаючу силу:

$$[F]_E = \min\{[F]_{E_1}, [F]_{E_2}\} = \min\{3,8; 1560\} = 3,8 \text{ МН}$$

Допустима стискаюча сила з умов міцності:

$$[F]_M = \pi(D + S_{on} - C)(S_{on} - C)[\sigma]\varphi =$$

$$= 3,14 \cdot (1,4 + (6-1) \cdot 10^{-3})(6-1) \cdot 10^{-3} \cdot 140 \cdot 10^6 \cdot 0,9 =$$

$$= 2779371 \text{ Н} = 2,78 \text{ МН}$$

Загальна допустима стискаюча сила:

$$[F] = \frac{[F]_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_M}{[F]_E} \right)^2}} = \frac{2,78}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,78}{3,8} \right)^2}} = 2,24 \text{ МН}$$

Перевірка:

$$\frac{F}{[F]} = \frac{0,0694}{2,24} = 0,03 < [1].$$

Отже, умова стійкості при робочих умовах виконується.

Перевірка міцності зварного шва (переріз А-А на рисунку 4.8).

Умова міцності має вигляд:

$$\frac{1}{\pi D a} F_{p.y.} \leq 0,8[\sigma],$$

					ЛНЗ11МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $a=0,004$ м – катет зварного шва

$$\frac{1}{3,14 \cdot 1,4 \cdot 0,004} 0,0694 = 6,31 \text{ МПа} < 0,8 \cdot 140 = 112 \text{ МПа}$$

Отже, умова міцності зварного шва при робочих умовах виконується.

Перевірка стійкості в зоні отвору (переріз Б-Б на рисунку 5.6).

З початку визначимо площу послабленого поперечного перерізу:

$$A = \pi D S_{on} - b S_{on} = 3,14 \cdot 1,4 \cdot 0,006 - 0,5 \cdot 0,006 = 0,0234 \text{ м}^2,$$

де $b = 0,5$ м – ширина отвору.

Коефіцієнт, що враховує послаблений переріз:

$$\varphi_1 = \frac{A}{\pi D (S_{on} - C)} = \frac{0,0234}{3,14 \cdot 1,4 \cdot (0,006 - 0,001)} = 1,06$$

Умова стійкості в перерізі:

$$\frac{F}{\varphi_1 [F]} \leq 1, \\ \frac{0,0694}{1,06 [2,24]} = 0,029 \leq 1$$

Отже, умова стійкості в послабленому перерізі виконується.

Перевірка стійкості опори на фундаменті (переріз В-В на рисунку 4.8).

Маса опори:

$$m_{on} = (\pi D S_{on} H_{on} - h b S_{on}) \rho_{on} = \\ = (3,14 \cdot 1,4 \cdot 0,006 \cdot 1,2 - 0,7 \cdot 0,5 \cdot 0,006) \cdot 7800 = 230 \text{ кг},$$

де $h = 0,7$ м – висота отвору; $\rho_{оп} = 7800$ кг/м³ - густина Ст 3 при $t = 20^\circ\text{C}$.

Площа опорного кільця:

$$S = 0,785 (D_{зов}^2 - D_{вн}^2) = 0,785 (1,28^2 - 0,95^2) = 0,58 \text{ м}^2$$

$D_{зов} = 1,28$ м та $D_{вн} = 0,95$ м взяті відповідно вибраній колоні.

Питоме навантаження опори на фундамент:

$$\sigma = \frac{G}{S} = \frac{m_{on} + m_{п.у.}}{S} = \frac{230 + 7080,4}{0,58} = 12604 \text{ Па}$$

					ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обираємо фундамент, для встановлення колони: бетон 300, тоді допустиме навантаження: $[\sigma] = 23 \text{ МПа}$.

Умова стійкості:

$$\sigma \leq [\sigma]$$

$$0,0126 \text{ МПа} < [23 \text{ МПа}]$$

Отже, умова стійкості виконується.

4.10.2 Перевірка опори на міцність та стійкість під час випробувань

Схема перевірки аналогічна до схеми перевірки опори в робочих умовах.

$$\sigma_{екв} = \sigma_x = \frac{F_{y.в.}}{\pi D(S_{on} - C)} = - \frac{0,157}{3,14 \cdot 1,4(0,006 - 0,001)} = 7,14 \text{ МПа}$$

Умова міцності:

$$\sigma_{екв} < [\sigma] \varphi \quad 7,14 \text{ МПа} < [140 \text{ МПа} \cdot 0,9 = 126 \text{ МПа}]$$

Отже, умова міцності виконується.

Виконаємо перевірку на стійкість.

Допустима стискаюча сила залишається незмінною як при робочих умовах, так і під час випробування, тоді:

$$\frac{F}{[F]} = \frac{0,157}{2,24} = 0,07 < [1]$$

Отже, умова стійкості при робочих умовах виконується.

Перевірка міцності зварного шва (переріз А-А на рисунку 5.6).

Умова міцності має вигляд:

$$\frac{1}{\pi D a} F_{y.в.} \leq 0,8[\sigma],$$

$$\frac{1}{3,14 \cdot 1,4 \cdot 0,004} 0,157 = 8,92 \text{ МПа} < 0,8 \cdot 140 = 112 \text{ МПа}$$

Отже, умова міцності зварного шва при робочих умовах виконується.

Перевірка стійкості в зоні отвору (переріз Б-Б на рисунку 5.6).

					ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умова стійкості в перерізі:

$$\frac{F}{\varphi_1[F]} \leq 1,$$
$$\frac{0,157}{1,06[2,24]} = 0,066 \leq 1$$

Отже, умова стійкості в послабленому перерізі виконується.

Перевірка стійкості на фундаменті (переріз В-В на рисунку 4.8).

Питоме навантаження опори на фундамент:

$$\sigma = \frac{G}{S} = \frac{m_{on} + m_{y.g.}}{S} = \frac{230 + 16073,4}{0,58} = 28109 \text{ Па}$$

Умова стійкості:

$$\sigma \leq [\sigma]$$
$$0,0281 \text{ МПа} < [23 \text{ МПа}]$$

Отже, умова стійкості виконується.

Висновок: підібрано та перевірено на міцність та стійкість циліндричну опору 3-1400-1200-Ст 3 ОСТ 26-467-84 з внутрішнім діаметром $D = 1,4 \text{ м}$, висотою $H_{оп} = 1,2 \text{ м}$, товщиною стінки $S_{оп} = 6 \text{ мм}$.

4.11 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції парогенератора

4.11.1 Визначення поверхні теплопередачі

Метою розрахунку є визначення теплового навантаження парогенератора, розрахунок поверхні теплообміну, вибір типового парогенератора.

Вихідні дані:

Тиск P , Мпа 0,15

вода:

температура на вході $t_{пв}$, °C 112

температура водяної пари на виході $t_{кв}$, °C 112

					ЛНЗ11МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

витрати пари G_p , кг/с 0,49

димові гази:

температура димових газів на вході $t_{пд}$, °C 600

температура димових газів на виході $t_{кд}$, °C 300

геометричні параметри труб:

діаметр трубки d , м 0,021

Розрахункова схема апарата зображена на рисунку 4.9

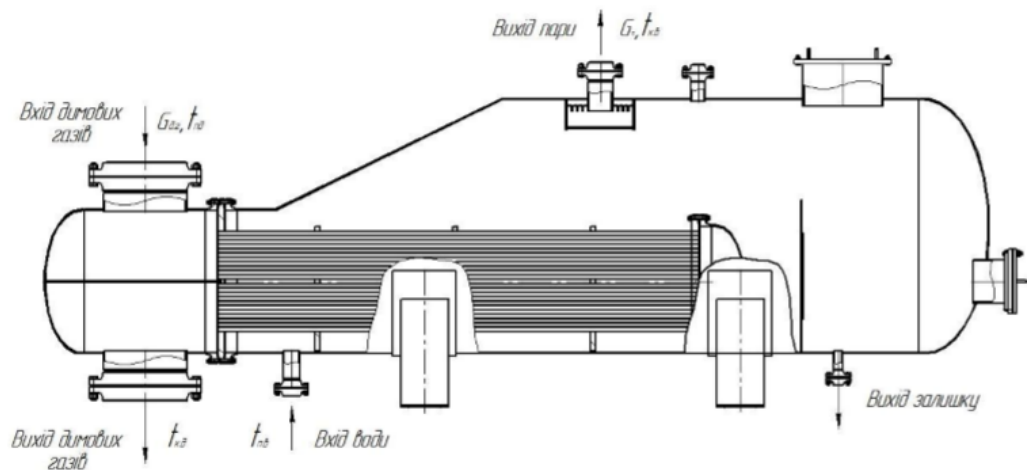


Рисунок 4.9 – Розрахункова схема парогенератора

Методика проведення даного розрахунку складена згідно [19].

Теплове навантаження парогенератора.

Розглянемо процес фазового переходу води з рідкого до газоподібного стану. Процес відбувається при температурі димових газів від $t_{пд} = 600$ °C до температури $t_{кд} = 300$ °C.

Визначасмо кількість теплоти необхідної для переходу води з рідкого до газоподібного стану:

$$Q = G_p \cdot r = 0,49 \cdot 2,2 \cdot 10^6 = 1,08 \cdot 10^6 \text{ Вт},$$

де $G_p = 0,49$ кг/с – витрати пари; $r = 2,2 \cdot 10^6$ Дж/кг – теплота пароутворення.

Витрати димових газів:

$$G_{д.г.} = \frac{Q}{c_{р.д.г.} \cdot (t_{пд} - t_{кд})} = \frac{1,08 \cdot 10^6}{1271 \cdot (600 - 300)} = 2,83 \frac{\text{кг}}{\text{с}},$$

де $G_{\text{д.г.}}$ – кількість димових газів; $c_{\text{р.д.г.}} = 1271 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ – теплоємність димових газів, при $t_{\text{ср.д.}} = 450^\circ\text{C}$.

Температурний напір по поверхні нагріву парогенератора:

Визначаємо більшу та меншу середні температури:

$$\Delta t_{\text{б}} = t_{\text{пд}} - t_{\text{кв}} = 600 - 112 = 488^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{м}} = t_{\text{кд}} - t_{\text{пв}} = 300 - 112 = 188^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}} = \frac{488 - 188}{\ln \frac{488}{188}} = 314^\circ\text{C}$$

Визначаємо швидкість димових газів в трубному просторі:

Приймаємо $Re = 14000$

$$\omega = \frac{Re \mu}{d \rho_{\text{д.г.}}} = \frac{14000 \cdot 37,9 \cdot 10^{-6}}{0,021 \cdot 0,465} = 54,3 \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

де $Re = 14000$ – орієнтоване значення критерія Рейнольдса;

$\rho_{\text{д.г.}} = 0,465 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ при $\Delta t_{\text{ср.д.г.}} = 314^\circ\text{C}$; $\mu = 37,9 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$ – коефіцієнт динамічної в'язкості динамічних газів.

Визначаємо кількість труб:

$$n = \frac{4 G_{\text{д.г.}}}{\pi \rho d^2 \omega} = \frac{4 \cdot 2,83}{3,14 \cdot 0,465 \cdot 0,021^2 \cdot 54,3} = 324,$$

де $d = 0,021 \text{ м}$ – внутрішній діаметр теплообмінних труб.

Вибираємо парогенератор з теплообмінними трубами 25x2, кількість яких $n = 324$ ($2n = 648$). Число ходів – 2. Площа теплообміну $F = 72 \text{ м}^2$.

Уточнюємо швидкість димових газів:

$$\omega = \frac{4 G_{\text{д.г.}}}{\pi \rho d^2 n} = \frac{4 \cdot 2,83}{3,14 \cdot 0,465 \cdot 0,021^2 \cdot 648} = 27,1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Перевіряємо значення критерія Рейнольдса для димових газів в трубному просторі:

$$Re = \frac{\omega d \rho_{\text{д.г.}}}{\mu} = \frac{27,1 \cdot 0,021 \cdot 0,465}{37,9 \cdot 10^{-6}} = 6983$$

Розрахуємо критерій Нуссельта для димових газів:

$$Nu = 0,021 \cdot \varepsilon \cdot Re^{0,8} = 0,021 \cdot 1 \cdot 6983^{0,8} = 25,$$

					ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $\varepsilon = 1$ – коефіцієнт, що показує відношення критерія Рейнольдса до $\frac{l}{d}$

Коефіцієнт тепловіддачі зі сторони димових газів:

$$\alpha_1 = \frac{Nu \lambda_{д.г.}}{d} = \frac{25 \cdot 0,0742}{0,021} = 88,3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{°C}},$$

де $\lambda_{д.г.} = 0,0742 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{°C}}$ - коефіцієнт теплопровідності димових газів.

Коефіцієнт тепловіддачі на поверхні труб для бульбашкового кипіння:

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= 0,075 \left(1 + 10 \left(\frac{\rho_p}{\rho_{\pi}} - 1 \right)^{-0,7} \right) \left(\frac{\lambda_p^2 \rho_p}{\mu_p \sigma t_{\text{кп}}} \right)^{0,3} q^{0,7} = \\ &= 0,075 \left(1 + 10 \left(\frac{997}{4,95} - 1 \right)^{-0,7} \right) \left(\frac{0,599^2 \cdot 997}{1004 \cdot 10^{-6} \cdot 0,072 \cdot 112} \right)^{0,3} q^{0,7} = \\ &= 2,3 q^{0,7} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{°C}}, \end{aligned}$$

де $\rho_p = 997 \text{ кг/м}^3$ – густина води; $\rho_{\pi} = 4,95 \text{ кг/м}^3$ – густина пари;

$\lambda_p^2 = 0,599 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{°C}}$ - коефіцієнт теплопровідності води;

$\mu_p = 1004 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$ – коефіцієнт динамічної вязкості води;

$\sigma = 0,072 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ – поверхневий натяг води; q – густина теплового потоку,

Вт/м^2 .

Коефіцієнт теплопередачі.

З урахуванням опору стінки і забруднення її з обох поверхонь коефіцієнт теплопередачі визначаємо з рівняння:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + r_{\text{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

де $\delta_{\text{ст}} = 0,002 \text{ м}$ – товщина стінки труби; $\lambda_{\text{ст}} = 46,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{°C}}$ -

коефіцієнт теплопровідності матеріалу зі сторони трубки; $r_{\text{ст}} = 0,00076 \frac{\text{м}^2\text{°C}}{\text{Вт}}$

Визначення теплового напруження поверхні нагріву.

					ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо ряд величин теплового навантаження $q, \text{Вт/м}^2$, визначаємо коефіцієнт теплопровідності $\alpha_2, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{°C}}$, коефіцієнт теплопередачі $K, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{°C}}$ та середню температуру $\Delta t_{\text{ср}}, \text{°C}$. Результати розрахунків заносимо у таблицю 5.1.

За даними таблиці 4.1 будуємо графік залежності $q - \Delta t_{\text{ср}}$ (рисунок 4.10), навантажувальна характеристика парогенератора, будуємо апроксимуючий поліном та за величиною середньої температури $\Delta t_{\text{ср}}, \text{°C}$ визначаємо теплове навантаження поверхні нагріву $q, \text{Вт/м}^2$.

Таблиця 4.1 – Результати розрахунків

Величина	Результати розрахунків		
	1	2	3
$q, \text{Вт/м}^2$ (приймається)	20000	25000	30000
$\alpha_1, \text{Вт/ (м}^2\text{°C)}$	88,3	88,3	88,3
$\alpha_2, \text{Вт/ (м}^2\text{°C)}$	2357	2756	3131
$K, \text{Вт/ (м}^2\text{°C)}$	79,6	80,05	80,3
$\Delta t = q/k, \text{°C}$	251,3	314	373,6

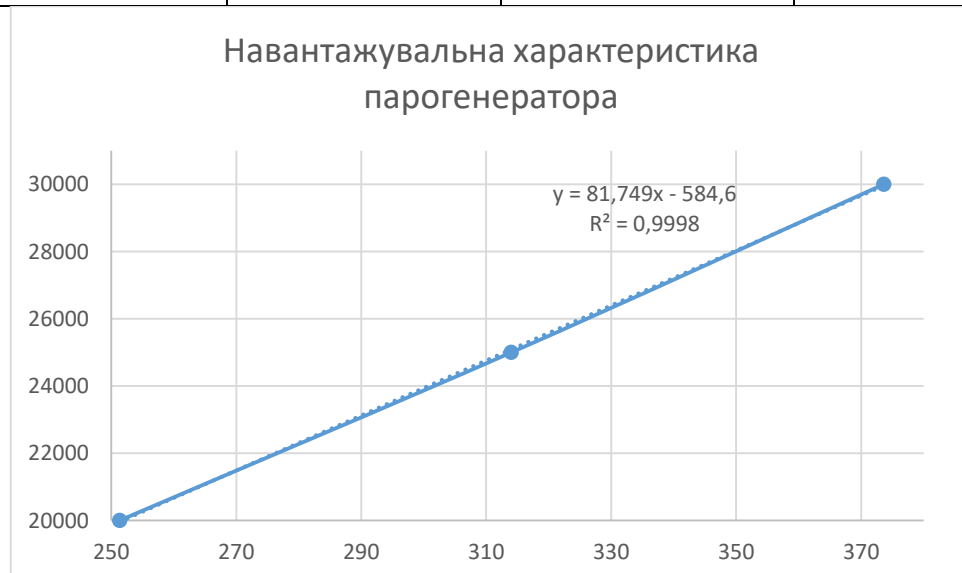


Рисунок 4.10 – Навантажувальна характеристика парогенератора.

У даному парогенераторі середній температурний напір

$\Delta t_{\text{ср}} = 314\text{°C}$, звідси за функцією апроксимації знаходимо теплове напруження поверхні нагріву

$$q = 81,749 \cdot \Delta t_{cp} - 584,6 = 81,749 \cdot 314 - 584,6 = 25084 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Коефіцієнт теплопередачі в парогенераторі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + r_{ст} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{58,16} + \frac{0,0025}{46,5} + 0,00076 + \frac{1}{2762}} = 54,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Розраховуємо необхідну площу поверхні теплообміну для нормального протікання процесу із запасом у 10%:

$$F_H = \frac{1,1 \cdot Q}{K \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{1,1 \cdot 1,08 \cdot 10^6}{54,5 \cdot 314} = 70 \text{ м}^2$$

Знайдемо оптимальну довжину труб:

$$L = \frac{F_H}{\pi \cdot d_{cp} \cdot n} = \frac{70}{3,14 \cdot 0,021 \cdot 324} = 3,3 \text{ м}$$

Приймаємо $L = 3,5 \text{ м}$.

Вибираємо парогенератор за ГОСТом 14248-79 з $D = 500 \text{ мм}$, $n = 324$, (так як 2-ходовий парогенератор, то $n = 324$), $L = 3,5 \text{ м}$, труби $25 \times 2 \text{ мм}$, тоді поверхня теплообміну $F = 72 \text{ м}^2$.

Перевіряємо отримане значення площі теплообміну з площею вибраного теплообмінника:

$$\Delta F = \frac{|F_H - F|}{F} = \frac{|70 - 72|}{72} \cdot 100\% = 2,7\% < [5\%]$$

В ході розрахунків визначили площу теплообміну для нормального протікання процесу теплопередачі та різницю температури між кожухом та трубами. Площа теплообміну складає $F = 72 \text{ м}^2$. Відхилення від площі стандартного парогенератора складає 2,7%, що в межах інженерної точності.

4.11.2 Конструктивний розрахунок

Метою розрахунку є за відомою кількістю трубок і кроком між ними розрахувати діаметр трубної решітки та корпусу апарата.

					ЛНЗ11МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При розміщенні труб в трубних ґратках необхідно забезпечити максимальну компактність, зручність розміщення трубних ґраток, надійність закріплення трубок. З точки зору задоволення цих вимог найбільш зручною є схема розміщення трубок у вершинах правильних трикутників – шаховий пучок (рисунок 4.11).

Вихідні дані:

загальна кількість трубок, n	648
продуктивність в міжтрубному просторі, $G_{\text{п}}$ кг/с	0,49
продуктивність в трубному просторі, $G_{\text{д.г.}}$ кг/с	2,83.

Методика розрахунку наведена в [20].

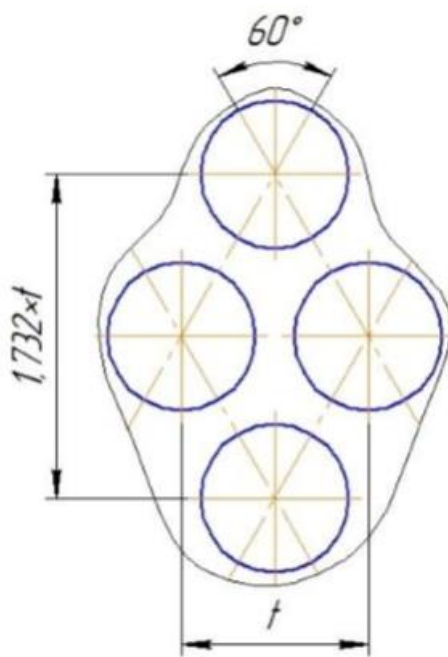


Рисунок 4.11 – Схема розміщення труб

Для такого розміщення, яке широко застосовують в промисловій практиці як найбільш компактну схему, зв'язок між загальною кількістю трубок n , числом труб на діагоналі b і числом трубок на стороні найбільшого трикутника виражається співвідношенням:

$$n = 3 \cdot a \cdot (a - 1) + 1$$

$$3 \cdot a^2 - 3 \cdot a - 648 = 0$$

Розв'яжемо рівняння і отримаємо:

$$a = 15$$

$$b = 2a - 1 = 2 \cdot 15 - 1 = 29.$$

Визначаємо дійсну кількість трубок :

$$n = 3a(a - 1) + 1 = 3 \cdot 15(15 - 1) + 1 = 631$$

Отже, необхідно додати 17 трубок при компонованні трубної ґратки, оскільки необхідна кількість 648.

Міжтрубний крок:

$$t = 1,3 \cdot d_{\text{зн}} = 1,3 \cdot 0,025 = 0,032\text{м.}$$

Висновки: при розрахунку кількості труб в трубних решітках 7 отворів будуть закриті заглушками. Невикористані отвори будуть рівномірно розміщені по всьому діаметру решітки.

4.11.3 Розрахунок штуцерів

Метою розрахунку є визначення основних параметрів і вибір стандартних штуцерів. Розрахункова схема зображена на рисунку 4.12.

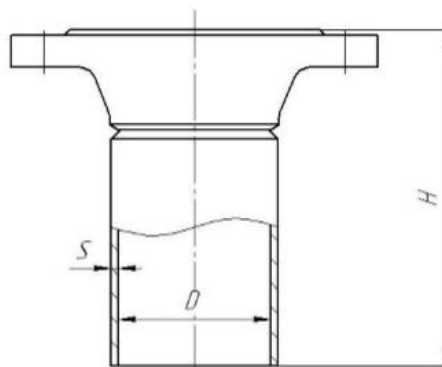


Рисунок 4.12 – Розрахункова схема штуцера

Вихідні дані:

тиск в середині апарата P , МПа 0,15

масова витрата пари $G_{\text{п}}$, кг/с 0,49

масова витрата димових газів $G_{\text{д.г.}}$, кг/с 2,83

Методика розрахунку згідно [21].

					ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок передбачає вибір стандартних штуцерів за тиском і умовним діаметром, що далі визначається.

Розраховуємо діаметр штуцера для димових газів:

$$d_{штд} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{G_{д.г.}}{\rho_{газ} \cdot \omega_{д.г.}}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{2,83}{0,465 \cdot 25}} = 0,557 \text{ м} = 557 \text{ мм}$$

де $\omega_{д.г.} = 25 \text{ м/с}$ - рекомендована швидкість для газів; $\rho_{д.г.} = 0,465 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ - густина димових газів.

Обчислюємо діаметр штуцера для входу води:

$$d_{штв} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{G_{п} + 0,1 \cdot G_{п}}{\rho_{р} \cdot \omega_{р}}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{0,49 + 0,1 \cdot 0,49}{997 \cdot 0,5}} = 0,037 \text{ м} = 37 \text{ мм}$$

де $\omega_{в} = 0,5 \text{ м/с}$ - рекомендована швидкість для води; $\rho_{р} = 997 \text{ кг/м}^3$ - густина води.

Обчислюємо діаметр штуцера для виходу водяної пари:

$$d_{штп} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{G_{п}}{\rho_{п} \cdot \omega_{п}}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{0,49}{4,95 \cdot 15}} = 0,091 \text{ м} = 91 \text{ мм},$$

де $\omega_{п} = 15 \text{ м/с}$ - рекомендована швидкість для пари;

$\rho_{п} = 4,95 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ - густина водяної пари.

Обчислюємо діаметр штуцера для виходу залишка води:

$$d_{штв} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{0,1 \cdot G_{п}}{\rho_{р} \cdot \omega_{р}}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{0,1 \cdot 0,49}{997 \cdot 0,5}} = 0,011 \text{ м} = 11 \text{ мм}$$

Розміри нормалізованих штуцерів за [22]:

1) 2 штуцери для входу і виходу димових газів, що має наступні параметри:

Номінальний діаметр D_y , м	0,500
Діаметр отвору d_t , м	0,40
Товщина стінки S_t , м	0,02
Висота штуцера H_t , м	0,2

2) штуцер для входу води, що має наступні параметри:

Номинальний діаметр D_y , м	0,150
Діаметр отвору d_T , м	0,159
Товщина стінки S_T , м	0,006
Висота штуцера H_T , м	0,170

3) штуцер для виходу водяної пари, що має наступні параметри:

Номинальний діаметр D_y , м	0,500
Діаметр отвору отвору d_T , м	0,325
Товщина стінки S_T , м	0,01
Висота штуцера H_T , м	0,190

4) штуцер для виходу залишку води, що має наступні параметри:

Номинальний діаметр D_y , м	0,040
Діаметр отвору d_T , м	0,045
Товщина стінки S_T , м	0,0035;
Висота штуцера H_T , м	0,155

4.11.4 Розрахунок гідравлічного опору парогенератора

Метою розрахунку є визначення гідравлічного опору трубного простору парогенератора.

Розрахункова схема зображена на рисунку 5.13.

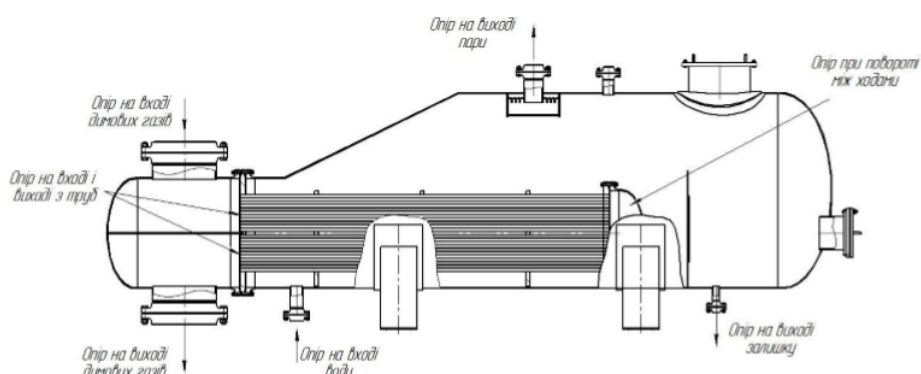


Рисунок 4.13 – Розрахункова схема гідравлічного опору парогенератора

Вихідні дані:

					ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Внутрішній діаметр трубки $d_{\text{вн}}$, м 0,021

довжина труб L , м 3,5

Розрахунок здійснюємо за методикою [22].

Розрахунок гідравлічного опору в трубному просторі:

Сумарні місцеві втрати:

$$\sum \varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 2,5 + 1,0 \cdot 2 + 2,0 \cdot 2 = 8,5,$$

де ε_1 - місцеві втрати при повороті теплоносія на 180° , $\varepsilon_1 = 2,5$;

ε_2 - місцеві втрати при вході і виході теплоносія, $\varepsilon_2 = 1,0$;

ε_3 - місцеві втрати при повороті через коліно, $\varepsilon_3 = 2,0$.

Швидкість димових газів у трубах:

$$w_{\text{тр}} = \frac{4 \cdot G_{\text{д.г.}}}{\rho_{\text{д.г.}} \cdot \pi \cdot d_{\text{шт}}^2} = \frac{4 \cdot 2,83}{0,465 \cdot 3,14 \cdot 0,5^2} = 15,5 \text{ м/с}$$

де $\rho_{\text{д.г.}} = 0,465 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – густина газу; $d_{\text{шт}} = 0,5 \text{ м}$ – діаметр штуцера для входу димових газів

Відносна шорсткість труб:

$$e = \frac{\Delta}{d_{\text{вн}}} = \frac{0,2}{21} = 0,0095,$$

де $\Delta = 0,2 \text{ мм}$ - висота виступів шорсткостей.

Критерій Рейнольдса:

$$Re_{\text{тр}} = \frac{w_{\text{тр}} \cdot d_{\text{вн}} \cdot \rho_{\text{д.г.}}}{\mu_{\text{д.г.}}} = \frac{15,5 \cdot 0,021 \cdot 0,465}{37,9 \cdot 10^{-6}} = 10921$$

При значенні $10000 < Re < 112000$ коефіцієнт тертя визначається:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left[e + \left(\frac{68}{Re_{\text{тр}}} \right)^{0,25} \right] = 0,11 \cdot \left[0,0095 + \left(\frac{68}{10921} \right)^{0,25} \right] = 0,03$$

Гідравлічний опір трубного простору:

$$\Delta p_{\text{тр}} = \left(\frac{\lambda}{d_{\text{вн}}} + \sum \varepsilon \right) \cdot \frac{W_{\text{тр}}^2 \cdot \rho}{2} = \left(\frac{0,032}{0,021} + 8,5 \right) \cdot \frac{25,8^2 \cdot 0,465}{2} = 560 \text{ Па}$$

Отже, гідравлічний опір трубного простору парогенератора: $\Delta p_{\text{тр}} = 1,5 \text{ кПа}$.

5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Відповідно до законів України про охорону праці в робочих умовах та під час випробувань, потрібно забезпечити для робітників безпечні умови праці.

Відповідно темі дипломної роботи «Розроблення ректифікаційної колони та парогенератора для модернізації установки виробництва бензолу» установка складається з системи колон, контактних апаратів, теплообмінників, холодильників, печей та ємкостей з продуктами. У роботі установки використовуються вибухонебезпечні, горючі та токсичні продукти.

Роботу виконує оператор, який контролює процес роботи колони та допоміжних апаратів і приладів.

Робоче місце оператора це операторська відкритого типу біля колони. Площа для роботи оператора становить $S = 7 \text{ м}^2$.

У даній роботі модернізації внесені до тарілчастої ректифікаційної колони, тому в даному розділі наведені необхідні норми та заходи безпеки відповідно до стандартів та норм охорони праці з ректифікаційною колоною, що забезпечує безпечні умови праці.

Колона не винесена в окреме приміщення, інші елементи установки працюють задовільно і їх можна не враховувати під час оцінки ШНВФ роботи працівників з даною відпарною ректифікаційною колоною. Площа приміщення становить $S = 320 \text{ м}^2$, об'єм $V = 8000 \text{ м}^3 \text{ h} = 25 \text{ м}$.

До шкідливих та небезпечних виробничих факторів при роботі оператора відносять [23]:

- ураження електричним струмом;
- повітря робочої зони;
- пожежо-вибухонебезпека;
- виробничий шум.

5.1 Виробничий шум

Шум дуже сильно впливає на стан людини.

При тривалій роботі з підвищеним шумом зменшується працездатність робітника, може з'явитись головний біль або роздратування. Основні джерела шуму в приміщенні: електродвигуни, насоси, редуктори, помпи, вентилятори, витяжки і кондиціонери.

Загальний рівень шуму становить 100 дБА, а допустимий за [24] – 60 дБА.

Засоби забезпечення нормального рівня шуму забезпечуються такими методами:

Якісний підбір осьових вентиляторів марки Турбовент Сігма 550 .

Звукоізоляція за допомогою глушників, кожухів, резонаторів, оздоблення стін тощо.

Завдяки переліченим засобам рівень шуму не перевищує допустимого 80дБа, згідно до вимог ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

Джерелом вібрації є двигуни, обертові лінії.

Вібрація усувається такими методами:

- 1) Використання гумових прокладок
- 2) Встановлення додаткової віброізоляції
- 3) Встановлення додаткових ребер жорсткості

Всі вимоги по віброзахисту відповідають нормам.

Фактичний рівень шуму – 50 дБА, що відповідає [24].

5.2 Повітря робочої зони

У даній роботі використовується бензол, який є дуже токсичною речовиною. Максимальна концентрація речовини за нормативним документом 0,3 мг/м³ та вимагає автоматичного контролю вмісту в повітрі.

					ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пари бензолу погано впливають на здоров'я людини. Це канцероген, наслідки якого можуть бути жахливими для організму.

Щоб забезпечити повну вентиляцію для очищення повітря в приміщенні встановлено вентиляцію. Фактична концентрація вмісту речовин в повітрі – 0,1-0,2 мг/м³.

Відповідно до [25] забезпечено умови мікроклімату, що наведені в таблиці 4.1. Для цього передбачене опалювання та кондиціювання приміщення.

Таблиця 5.1 – Параметри повітря робочого приміщення.

Категорія 2а	Оптимальні умови			
	Теплий період		Холодний період	
Температура, °С	21-24	20-22	21-23	20-22
Відносна вологість, %	65-45	45-60	60-40	40-60
Швидкість руху повітря, м/с	0,2	0,2	0,1	0,1

Перед запуском технологічних апаратів необхідно провести промивку і продувку всіх комунікацій і устаткування, перевірити їх герметичність. Всі насоси, завантажувальні пристрої та інші механізми і машини перевіряють без навантаження і під навантаженням на інертних середовищах.

Приміщення обладнанні стендами з зазначеними правилами техніки безпеки, правилами з експлуатації установки, стендами з планом евакуаційних виходів.

Фактичні дані забезпечуються у холодний період водним опаленням, а у теплий – прямооточний центральним кондиціонуванням та витяжної вентиляцією, що відповідають.

5.3 Електронебезпека

Обладнання, розроблене за проектом, буде розташоване в сухому приміщенні з нормальною температурою та вологістю.

В установці використовуються електроприлади з заземленням: напруга 220/380 В та частота 50 Гц. Згідно з ПУЕ-2017 приміщення належить до приміщень з підвищеної небезпеки (2 клас).

Причини електротравм персоналу під час роботи:

- працівник перебуває під напругою під час ремонтних робіт на вимкненому електрообладнанні через його неправильний пуск;
- дотик до струмоведучих деталей під напругою через пошкодження ізоляції або інші несправності;
- доторкання до струмоведучих частин, що перебувають під напругою.

Основними способами електрозахисту:

- ізоляція частин, які проводять струм та постійний контроль;
- встановлення огороження навколо установок;
- встановлення запобіжників;
- попереджувальна сигналізація;
- засоби індивідуального електрозахисту;
- заземлення в аварійному режимі. Засобом захисту від статичної електрики є заземлення. Заземлення електроустаткування, а точніше – заземлення відкритих провідних частин (ОПЧ), є однією з численних заходів, які можуть бути використані для захисту від ураження електричним струмом.

Заземлення ОПЧ передбачає створення еквіпотенційного середовища, що знижує ймовірність появи напруги на тілі людини.

Схема заземлення наведена на рисунку 5.1.

Всі ці методи захисту від ураження електричним струмом використовуються на виробництві та відповідають ДСТУ Б В.2.5-82:2016 «Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від

					ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ураження електричним струмом».

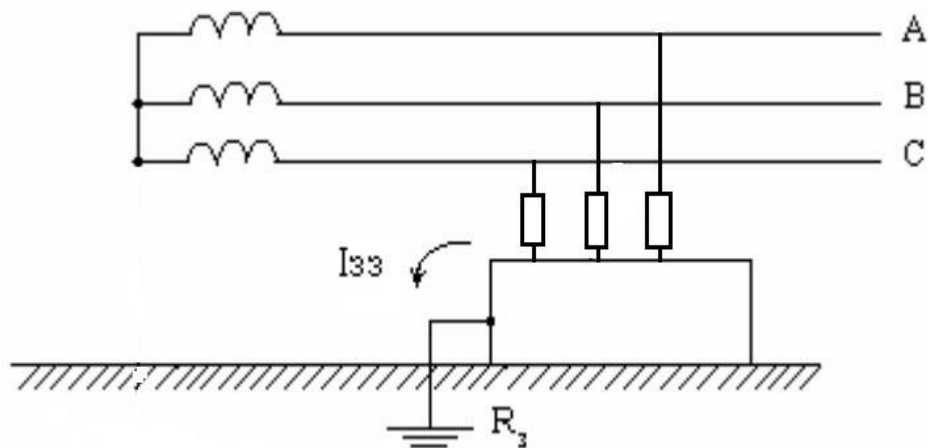


Рисунок 5.1– Схема заземлення

5.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Бензол є вогнебезпечним матеріалом, відноситься до горючих матеріалів, тому технологічний процес очистки бензолу відноситься до категорії В (ДСТУ Б В.1.1-36:2016).

Згідно ПУЕ-2017 клас зони установки П-Па (зони, розташовані в приміщеннях, в яких зберігаються горючі речовини).

Цех в якому знаходиться установка виробництва бензолу будується з використанням негорючих матеріалів (бетона, залізобетона), тому стійкість споруди за ДБН В.1.1-7:2016 відповідає ступеню вогнестійкості II.

Серед причин, що можуть викликати загорання, найбільш імовірними є такі:

- несправність електроустаткування;
- струми короткого замикання і навантаження кабелів живлення;
- загорання ізоляції електропроводки;
- використання вогню в неналежному місці.

Запобігання запалення забезпечується такими мірами:

- дотриманням технологічних норм і правил експлуатації;
- обмеження в застосуванні відкритого вогню;

- палінням тільки у відведених для цього місцях;
- своєчасним проведенням інструктажу з техніки безпеки серед обслуговуючого персоналу;
- організацією агітації по протипожежній безпеці;
- наявністю засобів сигналізації, зокрема, системи електричної пожежної сигналізації (ЕПС) і засобів оперативного зв'язку з пожежною частиною;
- наявністю засобів пожежогасіння в безпосередній близькості від установки (пісок, ковдри, вогнегасники).

На рисунку 5.2 зображено план евакуації з приміщення у разі екстреної ситуації.

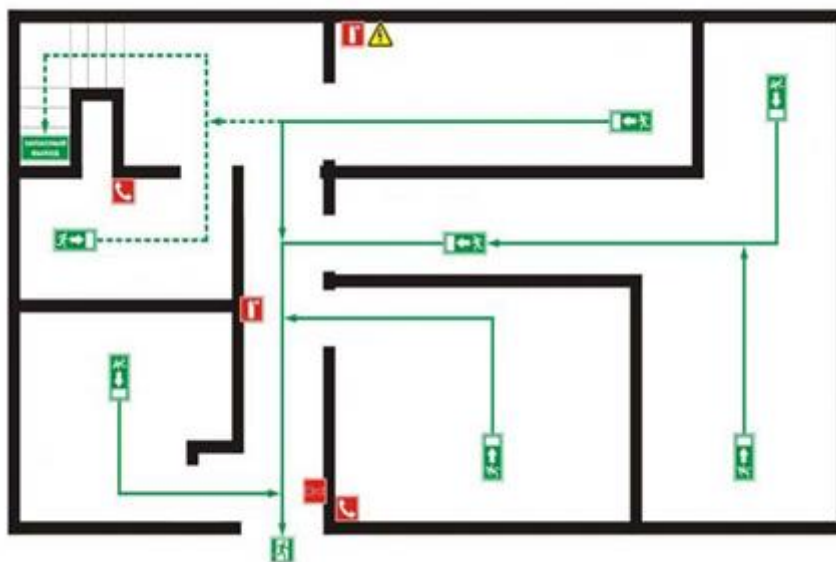


Рисунок 5.2 – план евакуації з приміщення у разі екстреної ситуації

У даному технологічному процесі використовуються мастила, їх рафінади та токсична речовина безнол при високих температурах. Отже, виникає високий ризик займання або навіть вибуху під час роботи.

Небезпечними факторами для пожежу є відкритий вогонь або іскра, підвищена температура предметів, руйнування та пошкодження елементів приміщення, установок та навіть вибух.

Система пожежного захисту передбачає гасіння електрообладнання, електропроводки, корпусів, установок, продуктів лінії виробництва.

Для гасіння пожежі, зв'язаної з електрикою я рекомендую використовувати вогнегасники: ОПС-10 (2 штуки) та ОППС-100 (2 штуки).

Для гасіння масштабних причин пожежі встановлена стаціонарна система гасіння САМ-6.

Я рекомендую застосовувати додаткові засоби пожежогасіння:

- розміщення вогнегасників через кожні 15 м;
- розташування на відстані 35 м пожежних гідрантів з рукавами довжиною 12 м;
- наявність 2 евакуиходів;
- дотримання відстані до пожежного виходу не більше 50 м;
- встановлення пожежної сигналізації;
- наявність 8 переносних порошкових вогнегасників вагою 6 кг.

Висновок: було проаналізовано всі загрози безпеці працівникам та прораховано всі можливі засоби для забезпечення життя майстрам. Було надано рекомендації по пожежній безпеці, електрозахисту та надано рекомендації дій під час екстрених ситуацій

					ЛНЗ11МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації

6.1. Ректифікаційна колона

Ректифікаційна колона будується для високої працездатності, довговічності та безпечності.

В обов'язковому порядку іде розробка можливості завчасного виявлення та усунення неполадок в роботі ректифікаційної колони [26].

Застосовується потоковий метод монтажу:

- 1) Підготовка необхідної спец-техніки;
- 2) Виготовлення фундаменту;
- 3) Перевірка електричної забезпеченості та водопровідних систем;
- 4) Обов'язкова наявність додаткових приміщень (виробничих, побутових та санітарних);
- 5) Обладнання майстерні для ремонту та зберігання інструментів;
- 6) Проведення заходів з техніки безпеки та пожежонебезпеки.

Бетон буде матеріалом для фундаменту, його маса має бути в приблизно в два рази більше маси самої колони.

Колона поділена на 4 основні блоки: опора, нижня секція, основна секція та кришка. В такому випадку для монтажу буде застосовуватись метод нарощування (рисунок 6.1).

Суть методу полягає в послідовному складанні знизу до верху колони за допомогою баштових кранів, вантажопідйомність якого визначається вагою найважчого блоку. Попередньо складаються блоки за допомогою спеціальних пристроїв. Нижня секція складається з днища, циліндричної обичайки та штуцерів. Основна секція передбачає встановлення тарілок і переливних пристроїв в циліндричну частину колони.

					ЛНЗ11МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

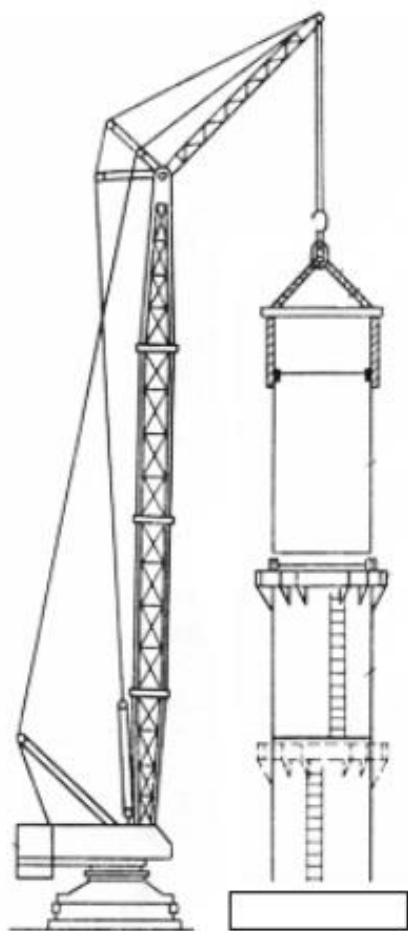
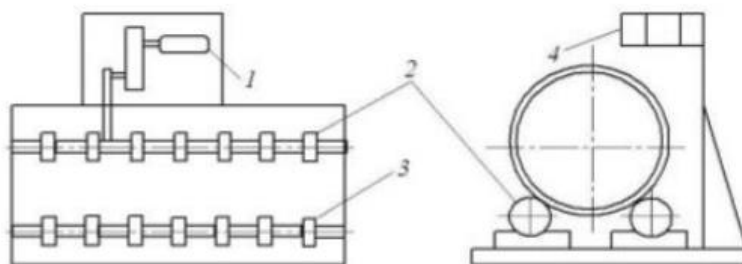


Рисунок 6.1 – Схема складання колони методом нарощування
Зварювання в процесі нарощування здійснюють за допомогою зварювального устаткування (рисунок 6.2).



1 – привід; 2 – приводні ролики; 3 – холості ролики; 4 – місце для зварювальника

Рисунок 6.2 – Автоматичне зварювальне устаткування колонних апаратів

Після закінчення монтажних робіт та фінальної перевірки відхилень, отримуємо результати, які не повинні перевищувати по головній осі 20 мм, по

загальній висоті колони – 10 мм. Далі проводиться огляд частин колони та всіх її з'єднувальних вузлів. Приділяється увага огляду таких деталей: прокладки, болти, заглушки, кришки, додаткові прилади та деталі, бо вони забезпечують герметичність конструкції.

Пневматичні та гідравлічні випробування проводяться обов'язково перед початком роботи. Мета цих випробувань полягає в повному заповненні апарату водою під тиском та витримкою не менше 30 хвилин. В цей час відбувається візуальний контроль герметичності та надійності. Будь-яке натікання води недопустиме. Після закінчення випробування, вода спускається, а апарат висушується.

Всі дефекти та недоліки вносяться в акт випробування.

Експлуатація апарата можлива тільки після підписання акту.

Для запобігання поломок і повного зупинення процесу, проводиться планове технічне обслуговування, яке включає в себе:

1) Перевірка технічного стану відповідальних деталей та з'єднувальних вузлів апарату та додаткових приборів;

2) Підтримка зовнішнього вигляду: очищення, витирання, прибирання;
– огляд кріпильних деталей, швів, теплоізоляції;

3) розрахунок обсягу ремонтних робіт та затрат, в разі виявлення дефектів. Також потребується щозмінне технічне обслуговування апарату, а саме:

- регулювання параметрів установки;
- перевірка електроустаткування та заземлення;
- усунення незначних дефектів.

Регулярний капітальний ремонт повинен проводитись через встановлений період часу, що визначається розрахунками і включає в себе заміну спрацьованих деталей, кріпильних елементів, теплової ізоляції, вузлів, корозійного захисту, гідравлічні і пневматичні випробування.

6.2 Парогенератор

Вказівки до виготовлення та експлуатації парогенератора виконуємо згідно [27].

Мета монтажної роботи полягає в правильній установці апарату на фундаменті, та приєднанні допоміжного устаткування: приладів теплового контролю, трубопроводів, деталей вузлів вводу і виводу рідкої та пароводяної фази.

В ході монтажу повинні виявлятися та одразу ж усуватися дефекти конструкції і здійснюється наладка обладнання для експлуатації.

Основні вказівки до монтажу:

- 1) Заборона на скидання з платформи будь-яких контейнерів, які містять в собі комплектуючі деталі;
- 2) Заборона на скочування деталей та вузлів апарату;
- 3) Способи транспортування, розвантаження і зберігання парогенератора на монтажній площадці у замовника повинні забезпечувати захист від механічних пошкоджень та корозії частин апарату;

Основні заходи безпеки:

- 1) Ремонт парогенератор під час роботи заборонений;
- 2) Монтаж, пуск та експлуатація апарата повинні проходити з дотриманням всіх правил безпеки;
- 3) Робота парогенератора зупиняється у таких випадках:
 - при несправності або неповній кількості кріпильних деталей фланцевих з'єднань;
 - при несправності контрольно-вимірювальних приладів;
 - при виникненні пожежі;
 - при виявленні в елементах апарата тріщин;
 - при виявленні протікання у фланцевих з'єднаннях, розриву прокладок;
 - при підвищенні тиску або температури вище дозволених технічною характеристикою;

					ЛНЗ11МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Всі монтажні роботи проводяться спеціально навченою монтажною бригадою.

Виробничі підрозділи організації виконують такі роботи:

- такелажні;
- монтаж металоконструкції;
- слюсарно-монтажні;
- прокладання трубопроводів та інші роботи;
- зварювання.

Підготовка до роботи:

1) Підприємство або власник зобов'язане, до пуску апаратів в експлуатацію, отримати технологічний регламент установки з умовами експлуатації обладнання;

2) Перед пуском апаратів в експлуатацію проводиться видалення повітря із порожнин апаратів та продувка інертним газом;

3) Перевірка наявності дозволу спеціальних органів на введення апаратів в експлуатацію;

4) Перевірити надійність приєднання технологічних трубопроводів;

5) Перевірити надійність роботи регулюючої та запобіжної арматури;

Правила зберігання:

а) спосіб зберігання у замовника повинен забезпечувати попередження механічних пошкоджень частин апарата;

б) штуцера апарата повинні бути закриті.

Інші вимоги за[28].

7 Рівень стандартизації та уніфікації

Рівень стандартизації та уніфікації виконано згідно методики [29].

Застосування стандартів сприяє поліпшенню взаємозамінності, якості продукції, підвищенню рівня уніфікації, розвитку автоматизації виробничих процесів, росту ефективності ремонту виробів та експлуатації.

Коефіцієнт стандартизації – це відношення кількості стандартних деталей до загальної кількості усіх деталей. Для апаратів, що виготовляються згідно стандартів або нормалей, коефіцієнт стандартизації рівний одиниці.

Коефіцієнт уніфікації – відношення кількості стандартних та запозичених деталей до загальної кількості усіх деталей.

Використання уніфікації сприяє раціональному скороченню кількості об'єктів однакового функціонального призначення.

Розрахунок проводиться за [30].

У ректифікаційній колоні загальна кількість деталей становить $N = 1320$, з них уніфікованих $n_y = 820$, стандартних $n_c = 450$.

Коефіцієнт стандартизації:

$$K_c = \frac{n_c}{N} = \frac{450}{1320} = 0,34.$$

Коефіцієнт уніфікації:

$$K_{yn} = \frac{n_c + n_y}{N} = \frac{450 + 820}{1320} = 0,95.$$

При проектуванні та розробці парогенератора, задля спрощення ремонту, обслуговування та заміни елементів конструкції, використано багато стандартних, нормалізованих та уніфікованих конструктивних елементів, деталей та вузлів. Зокрема, при виготовленні парогенератора використовуються такі стандартні елементи: арматура трубопровідна, болти, гайки, кріпильні пристрої, пластини та ін.

В парогенераторі загальна кількість деталей становить $N=110$, з них уніфікованих $n_y=5$, стандартних $n_c=101$.

Коефіцієнт стандартизації :

$$K_c = \frac{n_c}{N} = \frac{101}{110} = 0,92 .$$

Коефіцієнт уніфікації:

$$K_c = \frac{n_c + n_y}{N} = \frac{101+5}{110} = 0,96 .$$

Висновок: за розрахунком визначено, що коефіцієнти стандартизації та уніфікації для ректифікаційної колони становлять 0,34 та 0,95 відповідно. Такі результати пояснюються тим, що деталі виготовляються відповідно до ГОСТів, але не відносяться до стандартів, оскільки виготовляються на спеціальних виробництвах.

Відповідно до отриманих даних коефіцієнтів стандартизації та уніфікації для парогенератора, робимо висновок, що рівень стандартизації та уніфікації високий, 0,875 та 0,91 відповідно, що значно спрощує проектування та виготовлення даного апарату.

8 Старт-проект

8.1 Опис ідеї

Бізнес-ідея: Модернізація установки очистки бензолу з розробкою ректифікаційної колони та парогенератора.

Корисна модель належить до обладнання розділення розчинів, зокрема для очищення бензолу. Обладнання використовують у хімічній промисловості.

Поставлено задачу підвищити інтенсифікацію процесу очищення бензолу, яка вирішується за рахунок того, що модернізується ковпачок, на який встановлюється додаткова пластина. При аварійному збільшенні витрат пари наша пластина буде підійматись і зайва пара виходитиме.

Таблиця 8.1 - Опис ідеї стартап-проекту [31]-[34].

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Модернізація ковпачка ректифікаційної колони.	Хімічна промисловість.	При аварійному збільшенні витрат пари пластина підіймається і зайва пара виходить.
		Збільшення продуктивності при проведенні процесу

Даний підхід надає можливість представити користувачу повний спектр послуг. Порівняння буде проводитись з продавцями ректифікаційних колон. Найбільш популярними торговими марками є AquaGradus та Smaga.

Таблиця 8.2 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту.

Техніко-економічні характеристики ідеї	Потенційні товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проект	Aqua Gradus	Smaga	Auto Clav			
Вартість, грн	Від 250	Від 300	Від 350	Від 350	-	-	+
Асортимент обладнання	Можливість відновлення	Не завжди є в наявності	Можливість відновлення	Не завжди є на складі	-	+	+
Кількість разів повторного використання	5	3	4	4	-	+	+

Основною перевагою над конкурентами є: гарантоване отримання більш високих результатів за короткий термін роботи модернізації.

					ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначений перелік сильних (асортимент обладнання, кількість разів повторного використання, вартість послуги) характеристик та властивостей ідеї потенційного товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

8.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проведено аудит способу, за допомогою якого можна реалізувати ідею проекту та наведено його у таблиці 8.3.

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Очистка бензолу	Модернізація ковпачка	Дані технології існують. В доробці їх є необхідність.	Дані технології знаходяться у відкритому доступі.

Обрана технологія реалізації ідеї проекту можлива.

Проаналізувавши технологічну здійсненність проекту можна зробити висновок, що проект можна реалізувати. Для реалізації проекту буде використовуватись додаткова пластина на ковпачку

8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Для цього спочатку проводився аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку, таблиця 8.4.

					ЛНЗ11МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 8.4 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Кількість головних гравців, од	3
Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	6 млн
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Фінансові, цінові
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ГОСТ, ДСТУ, ISO
Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	92%

Визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформовано орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи, таблиця 8.5. Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (таблиця 8.5).

Таблиця 8. 5 - Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Потреба у відведенні зайвої пари.	Підприємств, що займаються очисткою бензолу	1)ДСТУ, ГОСТ, ISO 2) удосконалені ковпачки для відведення пари.	- якість очистки бензолу - економічна ефективність;

Проаналізуємо докладно фактори маркетингового середовища (таблиця 8.6 - 8.11), на основі яких виділимо фактори загроз (таблиця 8.12) і фактори можливостей (8.13).

Таблиця 8.6 - Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Вірогідність появи нових конкурентів	Тенденції зміни числа конкурентів	Зниження ціни
Політичні конфлікти між країнами	Може вплинути на продаж колон	Зміна напрямків роботи: обслуговування колон.
Соціально-культурні: «Консервативність споживачів до запровадження інновацій».	Впливає на купівлю/продаж колон	Пошук нових клієнтів для виробництва колон у тому числі закордоном

Таблиця 8.7 – Фактор можливостей.

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Науково-технічний Поява нових колон.	Створення нових модернізацій.	Розробка нового обладнання та технології.
Соціально-культурні: Консервативність поглядів споживачів	Небажання споживачів використовувати нові технології	Пояснення споживачам, що пропоновані послуги зможуть підвищити ефективність використання ректифікаційних колон

Надалі були визначені загальні риси конкуренції на ринку наших апаратів (таблиця 8.8).

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Монополістична	Наявність компаній, що надають різноманітні послуги	Створення послуг обслуговування ректифікаційних колон під замовлення.
За рівнем конкурентної боротьби: національний	Менше компаній-конкурентів, за рахунок того, що іноземні компанії не конкурують з національними.	Створення нової технології виготовлення ректифікаційних колон.
За галузевою ознакою: Міжгалузева	Конкуренція за більш вигідні умови.	Створення удосконаленого обладнання
За видами товарів: Товарно-родова	Зосередження конкурентоспроможності на виготовленні та обслуговування колон	Постійний моніторинг ринку щодо появи нових продуктів (технологій)
За характером : цінова	Головним засобом боротьби є ціна	Зменшення ціни (за рахунок зменшення витрат).
За інтенсивністю: Не марочна	Репутація проекту	Створення високого рівня ділової репутації, що сприятиме пізнаваності стартапу

Таблиця 8.8 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Після аналізу конкуренції проводимо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі за моделлю 5 сил М. Портера. Згідно цієї моделі розглядаємо 5 основних сил, які необхідно врахувати перед виходом на ринок, опис наведено в таблиці 8.9.

Таблиця 8.9 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товаризамінники
Складові аналізу	AquaGradu, Smaga.	Визначити бар'єри входження в ринок	Визначити фактори сили постачальників	Визначити фактори споживачів	Фактори загроз з боку замінників
Висновки	Фірми, що надають схожі послуги	Можливість і виходження в ринок є, оскільки потребується очищення великої кількості бензолу	Транспортування колон відбувається своїми силами	Клієнту завжди необхідне: Конкуренти оспроможні послуги за низькою ціною	Ми маємо конкурентну перевагу – це нижча ціна, та унікальна технологія

Можна зробити висновок, що для того щоб проект був конкурентоспроможним на ринку він повинен бути інноваційним, щоб подолати всі бар'єри на стадії розвитку. Та з огляду на конкурентну ситуацію на ринку, доведено потенційні можливості існування стартапу.

На основі аналізу конкуренції, проведеного в (таблиця 8.9), а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (таблиця 8.3), вимог споживачів до товару (таблиця 8.5) та факторів маркетингового середовища (таблиця №8.6-8.7) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлюється за таблиця. 8.10.

Таблиця 8.10 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності.

Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
Ціна	Відведення пари. Сервісне обслуговування.
Швидкість	Надання послуг в короткі терміни
Екологічність	Безвідходне виробництво

За визначеними факторами конкурентоспроможності (таблиця 8.10) оводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (таблиця 8.11).

Таблиця 8.11 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з проектом						
		-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Ціна	12			△	□		◇	
Надійність	11			□	◇			
Швидкість	13			□	△	△		

◇ - даний проект;

△ - AquaGradus

☐ - Smaga

Сильні сторони проекту: ціна

Таблиця 8.12. - SWOT- аналіз стартап-проекту

Таблиця 8.9. - SWOT- аналіз стартап-проекту	
Сильні сторони : 1. Унікальність технології 2. Енергоефективність. Робота за вільним графіком працівників 3. Ефективність 4.Робота за вільним графіком працівників 5.Універсальність застосування модернізованого обладнання	Слабкі сторони : 1. Малий досвід роботи на ринку
Можливості: - Можливість виходу на закордонний ринок - Залучення до співпраці фахівців в інженерії - Модернізація та проектування нового обладнання	Загрози: - Поява сучаснішого обладнання - Витіснення конкурентами компанії з ринку - Політичні конфлікти між країнами

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (таблиця 8.13).

Таблиця 8.13 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту.

Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
Виготовлення модернізованих апаратів, які можна застосовувати в будь яких галузях промисловості	90%	1 рік
Обслуговування апаратів	80%	9 місяців

Найоптимальніший шлях вирішення управлінської проблеми – адекватне комбінування напрямів та шляхів розв’язання проблеми, всебічне просування власного бренду, неупинна праця над якістю та енергоефективністю товару.

8.4 Розроблення ринкової стратегії стартап-проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (таблиця 8.14).

Таблиця 8.14 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входження у сегмент
Підприємства, що використовують у своєму виробництві очищення води	85%	81%	Низька	Фірма може створити продукт, що має переваги над товарами конкурентів, завдяки своїй новизни.
Державний сектор харчова промисловість	77%	66%	Достатня конкуренція	Високі бар'єри входу на ринок

Які цільові групи обрано: підприємства, що займаються очищенням води різних рівнів.

Для здобуття репутації компанії потрібно починати з приватних компаній. Вибрано стратегію диференційованого маркетингу для охоплення ринку.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувані базову стратегію розвитку (таблиця 8.15).

Таблиця 8.15 - . Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Ринкове позиціонування	Диференціація структури маркетингу.	Передбачає надання послуг важливих з точки зору споживача відмітних властивостей, які роблять послугу відмінною від послуг конкурентів.	Стратегія диференціації

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (таблиця 8.16).

Таблиця 8.16 - Визначення стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
Ні	Передбачається розвиток ринку	Ні	Стратегія наслідування лідера AquaGradus

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, таблиця 8.4, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку, таблиця 8.14, та стратегії конкурентної поведінки, таблиця 8.15, розроблено стратегію позиціонування, таблиця 5.17, що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельний проект.

Таблиця 8.17 – Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
Підвищення ефективності, енергоефективності	Стратегія диференціації	Ефективність, енергоефективність	Тривалі контракти Екологічність

8.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач.

Для цього у таблиці 8.18 потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 8.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару.

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Підвищення ефективності видалення зайвого пару, енергоефективності.	Збільшення чистого прибутку.	- Високий інтелектуальний потенціал компанії -Сучасні технології - Екологічність

- Економічні – вартість обслуговування, експлуатації, утилізації, витратних матеріалів, ремонту, знижки;

- Призначення (технічні) – показники, що визначають головний напрямок використання товару та можливу сферу його застосування: класифікаційні показники, складу і структури, технічної досконалості;

- Надійності – здатність товару безвідмовно працювати

- безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність;

- Технологічні – можливість оптимізації витрат матеріалів, праці, коштів, часу під час технологічної підготовки виробництва, виготовлення та використання товару;

- Органолептичні – визначають властивості товару, які людина може визначити за допомогою своїх органів чуття;

- Ергономічні – показники ступеню адаптованості технічних та конструктивних рішень виробу до біологічних властивостей людини та середовища використання товару: гігієнічні, антропометричні, фізіологічні та психологічні;

- Естетичні – оцінюють зовнішній вигляд товару;
- Транспортабельності – визначають пристосованість продукції до транспортування, підготовчих, початкових і кінцевих операцій перевезення;
- Екологічності – характеризують рівень негативного впливу на довкілля;
- Безпеки – безпечності та нешкідливості споживання товару.

Далі розглядаємо техніко-економічні характеристики кожного рівню товару, отримані дані вносимо до таблиці 8.19.

Таблиця 8.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Послуга за задумом	Більший час експлуатації колони та ковпачків		
II. Послуга у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Надійність	—/+	+ /+ /+ /+ /+
	2. Ресурсозбереження		
	3. Доступна ціна		
	4. Інноваційні технології		
	Якість: нормативи, міжнародні та вітчизняні стандарти ДСТУ, ISO, DIN та інші.		
	Пакування– відсутнє		
	Марка: назва організації-розробника назва товару		
III. Послуга із підкріпленням	До продажу :		
	• підписання довготривалого контракту; • доставка; • різні способи оплати;		
	Після продажу:		
	• Гарантія якості продукції		

За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання. Використання власних запатентованих розробок та методів оптимізації, консультування та шляхів розв'язку проблеми.

Захист буде організовано за рахунок захисту ідеї товару у патентному відомстві.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (таблиця 8.20).

Таблиця 8.20 – Визначення меж встановлення ціни.

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
Відповідно до розміру ковпачів, ціна на очищення варіюється від 400 до 900 грн/штука	Відповідно до розміру ковпачків, ціна на нове обладнання від 800 до 1200 грн/штука	Промисловий ринок залежить від замовлення послуг	Верхня: 30000 грн Нижня: 10000 грн

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (таблиця 8.21).

- проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 8.21 – Формування системи збуту.

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Закупівля оптом	Якість послуги, швидкість перевезення до клієнта	Нульовий рівень. Адже використовуються власні сили	Власні сили

При визначенні оптимальної системи збуту було вирішено, що ми будемо проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту).

Останньою і основною складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (таблиця 8.22).

Таблиця 8.22 - Концепція маркетингових комунікацій.

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Цільові клієнти орієнтовані на використання вузькоспеціалізованих комунікацій, очищення бензолу	Інтернет та соціальні мережі, реклама, виставки, семінари,	Спеціалізовані виставки. Присвячені технологіям очистки бензолу	Показати перелік наших послуг та надати інформацію для звернення	«Рушійна сила інновацій»

Результатом останнього пункту має стати ринкова (маркетингова) програма, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

8.6 Висновки до розділу

Визначено сильні, слабкі та нейтральні характеристики розробленого проекту, проведено порівняння техніко-економічних характеристик з аналогічними апаратами, що дозволило нам зробити попередні висновки щодо доцільності реалізації даного проекту;

Обрано стратегію посилення сильних сторін за рахунок використання ринкових можливостей, так як імовірність отримання ресурсів найбільша, а строк реалізації найменший;

Наявність попиту, що визначається потребою підвищення ефективності, енергоефективності, свідчить про можливість ринкової комерціалізації проекту;

Маркетингові дослідження обраного сегменту ринку, оцінки рівня та динаміки конкуренції в базовій та спорідненій галузях, дозволяють стверджувати про перспективи створення та розвитку стартап-проекту.

					<i>ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ</i>	Арк.
						117
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

У дипломному проєкті освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» «Модернізація установки очистки бензолу з розробкою ректифікаційної колони та парогенератора», розроблено нову конструкцію ковпачка ректифікаційної колони, що дозволило при аварійному збільшенні витрат пари підіймати пластину і забезпечити вихід зайвої пари.

У результаті виконання дипломного проекту було зроблено опис технологічного процесу; вибрано тип ректифікаційної колони та парогенератора; обґрунтовано вибір конструкції апаратів; порівняно основні показники розробленої конструкції з аналогами; проведено патентне дослідження, розроблено та обґрунтовано вимоги щодо пожежної безпеки та охорони праці при експлуатації ректифікаційної колони та парогенератора. Проведено розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції – розрахунок матеріального балансу, гідравлічний розрахунок тарілок, розрахунок на міцність, визначення висоти колони, тепловий розрахунок, визначено поверхню теплопередачі парогенератора, конструктивний розрахунок, розрахунок штуцерів. Розроблено рекомендації щодо монтажу та експлуатації, визначено рівень стандартизації та уніфікації, здійснено техніко-економічне обґрунтування модернізації.

Графічна частина проекту виконана у середовищі КОМПАС 3DV-19 і включає в себе технологічну схему очистки – А1, складальні креслення: ректифікаційна колона – А1, корпус – А1, парогенератор – А1, корпус – А1, модернізація – 2А1, трубчатка парогенератора – А1, схема автоматизації – А1, опора – А1. До складальних креслень виконано специфікації.

За період виконання роботи зроблені 3 доповіді (з опублікуванням тез) на всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених, а також написано статтю на міжнародну конференцію; автори: Литвин О.В., Іваницький Г.К.

					ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						118
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Conclusions

In the diploma project of the educational and qualification level "master" "Modernization of the benzene purification plant with the development of a rectification column and a steam generator", a new design of the cap of the rectification column was developed, which made it possible to raise the plate in case of an emergency increase in steam consumption and ensure the release of excess steam.

As a result of the diploma project, a description of the technological process was made; the type of rectification column and steam generator is selected; the choice of device design is justified; compared the main indicators of the developed design with analogues; a patent study was conducted, requirements for fire safety and labor protection during operation of the rectification column and steam generator were developed and substantiated. Calculations were carried out that confirm the workability and reliability of the structure - material balance calculation, hydraulic calculation of plates, strength calculation, column height determination, thermal calculation, heat transfer surface of the steam generator was determined, structural calculation, fitting calculation. Recommendations for installation and operation were developed, the level of standardization and unification was determined, and a technical and economic justification of modernization was carried out.

The graphic part of the project was made in the KOMPAS 3DV-19 environment and includes the technological scheme of purification - A1, assembly drawings: rectification column - A1, body - A1, steam generator - A1, body - A1, modernization - 2A1, tube of the steam generator - A1, scheme of automation – A1, pillar – A1. Specifications have been made to the assembly drawings.

During the period of work, 3 reports were made (with the publication of theses) at the All-Ukrainian scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists, and an article was written for an international conference; authors: Lytvyn O.V., Ivanytskyi G.K.

					<i>ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ</i>	Арк.
						119
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік посилань

1. Русьянова Н.Д. Вуглехімія. - М.: Наука, 2000. - 289 с.
2. Кириллов А. В. Расчёт контактных устройств тарельчатых колонных аппаратов: учебное пособие. Комсомольск-на-Амуре: «КНАГТУ», 2014. 70 с.
3. Иоффе И. Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии: учебник для техникумов. Л.: Химия, 1991. 352 с.
4. Патент № CN 217041345 U, B01D 3/00. Ректифікаційна колона / Лі Хайтінг. – Опубл. 26.07.2022.
5. Патент № CN 216653440 U, B01D 3/14. Ректифікаційна колона / Лу Цзюньфен. – Опубл. 03.06.2022.
6. Патент № CN 217409764 U, B01D 29/03. Ректифікаційна колона / Чжун Юде. – Опубл. 13.09.2022.
7. Патент № 217367196 U, B01D 3/14. Ректифікаційна колона / Ян Лінсон. – Опубл. 13.09.2022.
8. Патент № CN 217041343 U, B01D 3/00. Ректифікаційна колона / Ні Цзюньбяо. – Опубл. 26.07.2022.
9. Патент № CN 217057496 U, F22B 37/00. Парогенератор / Ху Бін. – Опубл. 26.07.2022.
10. Патент № CN 114413240 A, F22B 1/28. Парогенератор / Ян Ху. – Опубл. 29.04.2022.
11. Патент № CN 114607995 A, F22B 1/28. Парогенератор / Лю Міншу. – Опубл. 10.06.2022.
12. Патент № CN 216868460 U, F22B 37/26. Парогенератор / Ху Руго. – Опубл. 07.01.2022.
13. Патент № CN 216769390 U, F22B 1/00. Парогенератор / Се Сінвень. – Опубл. 17.06.2022.
14. Застосування матеріалів у хімічному машинобудуванні. Сталі й чавуни: Навчальний посібник для студентів, які навчаються за напрямком „Машинобудування” спеціальність "Обладнання хімічних виробництв та

					ЛНЗ11МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						120
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підприємств будівельних матеріалів"/ НТУУ „КПІ”; уклад. І.А. Андреев, О.Г. Зубрій, І.О. Мікульонок,. - Київ : НТУУ „КПІ”, 1999. - 148 с.

15. Лашинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник., – Л.: Машиностроение. 1981. – 382 с

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

17. Розрахунок колонних апаратів на міцність і стійкість [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», освітньо-професійної програми «Обладнання хімічних, нафтопереробних та целюлозно-паперових виробництв» / І. А. Андреев; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 4,53 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 112 с.

18. ГОСТ 51274-99. Сосуды и аппараты. Аппараты колонного типа. Нормы и методы расчета на прочность.

19. Кузнецов А. А., Кагерманов С. М., Судаков Е. И. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности. Изд. 2-е пер. и доп. Л., «Химия», 1974. 344 с.

20. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков В. Н. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.

21. Кузнецов А. А., Кагерманов С. М., Судаков Е. И. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности. Изд. 2-е пер. и доп. Л., «Химия», 1974. 344 с.

22. Корнієнко Я. М. Процеси та обладнання хімічної технології: підруч. Я. М. Корнієнко, Ю. Ю. Лукач, І. О. Мікульонок та ін. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – Ч. 2. – 416 с.

23. О. Г. Левченко, О. І. Полукаров, В. В. Зацарний, Ю. О. Полукаров, О.В. Землянська, «Охорона праці та цивільний захист», - 2019.

24. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку і інфразвуку.

					ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						121
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

25. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

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

27. ГОСТ 24755-89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий

28. ГОСТ 12. 3. 009-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности

29. РД 50-33-80. Определение уровня унификации и стандартизации

30. Обеспечение и методы оптимизации надежности химических и нефтеперерабатывающих производств/ В. В. Кафаров, В. П. Мешалкин, Г. Грун, В. Ной-манн. — М.; Химия, 1987. 272 с.

31. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс]: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

32. Маркетинг стартап-проектів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для усіх спеціальностей другого освітнього ступеню «магістр» / С. О. Солнцев, О. В. Зозульов, Н. В. Юдіна, Т. О. Царьова, Н. В. Язвінська ; за заг. ред. С.О. Солнцева ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 218 с.

33. Юдіна Н.В. Міждисциплінарні платформи стартап-проектів [Електронний ресурс] // Міждисциплінарні дискусії : Матеріали науково-теоретичного семінару «Міждисциплінарні дослідження: теоретико-методологічні виміри», 5 грудня 2017 р. – Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка Інститут міжнародних відносин Навчально-науковий центр «Синтез». – 2017. – С. 20-24. -

34. Юдіна Н. В. Визначення циклічних залежностей в економіці України на основі аналізу окремих макроекономічних показників. Економічний Вісник НТУУ «КПІ». №13(2016).

					ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						122
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А
Автоматична схема керування установкою

					ЛНЗ11МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						123
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

АВТОМАТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ТА КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЦТВОМ

А.1 Аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації

На підставі аналізу особливостей технологічного процесу очищення бензолу, його апаратурного оформлення та норм технологічного режиму необхідно забезпечити такий рівень автоматизації виробництва:

- контроль та регулювання витрати сировини на вході в теплообмінник 2;
- контроль та регулювання температури сировини в теплообміннику 2;
- контроль та регулювання витрати сировини на вході в теплообмінник 4;
- контроль та регулювання температури сировини в теплообміннику 4;
- контроль та сигналізація перепаду тиску в ректифікаційна колоні;
- контроль та сигналізація перепаду рівня в збірнику;
- контроль та регулювання температури сировини в ректифікаційній колоні;
- контроль та регулювання температури сировини в парогенераторі;
- контроль та регулювання витрати сировини на вході в парогенератор;
- контроль та регулювання витрати сировини на вході в теплообмінник 6;
- контроль та регулювання температури сировини в теплообміннику 6.

Параметри контролю та регулювання виробництва представлено у таблиці А.1.

					ЛНЗ11МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						124
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця А.1 – Параметри контролю та регулювання виробництва

Назва стадії процесу (технологічний об'єкт), місце заміру параметра	Назва контрольованого чи регульованого параметра	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до рівня автоматизації (контроль, регулювання, сигналізація)
Збірник	Рівень	2-20 м	контроль, сигналізація
Теплообмінник 2	Витрата Температура	- 80...85 °С	контроль, регулювання
Ректифікаційна колона	Витрата Перепад тиску Температура	- - 94...96 °С	контроль, регулювання, сигналізація
Теплообмінник 4	Витрата Температура	- 80...85 °С	контроль, регулювання
Парогенератор	Витрата Температура	- 300...315 °С	контроль, регулювання
Теплообмінник 6	Витрата Температура	- 80...85 °С	контроль, регулювання

А.2 Опис розробленої схеми автоматизації відділення

Щоб забезпечити належну роботу усього технологічного устаткування, збільшити продуктивність виробництва, підвищити якість продукту, стабілізацію, контроль та реєстрацію технологічних параметрів, а також мінімізувати можливі помилки технологічного персоналу розроблено схему автоматизації. Включає низку контурів автоматичного контролю та регулювання режимних параметрів технологічного процесу.

Для контролю та регулювання витрати сировини на вході в теплообмінник 2 розроблено контур 1. Він включає в себе наступні технічні засоби автоматизації ТЗА: діафрагма камерна (1-1), дифманометр безшкальний із квадратичною функцією перетворення (1-2), прилад вторинний пневматичний показувальний реєструвальний, зі станцією керування (1-3), регулятор пневматичний пропорційно-інтегральний (система СТАРТ) (1-4), механізм виконавчий пневматичний прямої дії з позиціонером ПП-1.25 і

боковим дублером (1-5), перетворювач пневмoeлектричний (1-6), перетворювач електропневматичний (1-7).

Для контролю та регулювання температури сировини в теплообміннику 2 розроблено контур 2. Він включає в себе наступні технічні засоби автоматизації: термоперетворювач, типу ТСП (2-1), перетворювач сигналу від термометра опору ТСП (2-2), автоматичний показувальний і реєструвальний мікропроцесорний вторинний прилад з вбудованим ПІД-регулятором (2-3), регулювальний клапан (2-4).

Для контролю та регулювання сировини на вході в теплообмінник 4 розроблено контур 3. Він включає в себе наступні технічні засоби автоматизації ТЗА: діафрагма камерна (3-1), дифманометр безшкальний із квадратичною функцією перетворення (3-2), прилад вторинний пневматичний показувальний реєструвальний, зі станцією керування (3-3), регулятор пневматичний пропорційно-інтегральний (система СТАРТ) (3-4), механізм виконавчий пневматичний прямої дії з позиціонером ПП-1.25 і боковим дублером (3-5), перетворювач пневмoeлектричний (3-6), перетворювач електропневматичний (3-7).

Для контролю та регулювання температури сировини в теплообміннику 4 розроблено контур 4. Він включає в себе наступні технічні засоби автоматизації: термоперетворювач, типу ТСП (4-1), перетворювач сигналу від термометра опору ТСП (4-2), автоматичний показувальний і реєструвальний мікропроцесорний вторинний прилад з вбудованим ПІД-регулятором (4-3), регулювальний клапан (4-4).

Для контроль та сигналізації перепаду тиску в ректифікаційній колоні розроблено контур 5. Він включає в себе наступні технічні засоби автоматизації: вимірювальний тензоперетворювач надлишкового тиску (5-1), автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад (5-2), сигнальна лампочка (HL1).

					ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для контроль та сигналізації перепаду рівня в збірнику розроблено контур 6. Він включає в себе наступні технічні засоби автоматизації: вимірювальний щуповий рівнемір періодичної дії (6-1), перетворювач електропневматичний (6-2), прилад вторинний пневматичний показувальний, реєструвальний (6-3), сигнальна лампочка (HL2), сигнальна лампочка (HL3).

Для контролю та регулювання температури сировини в ректифікаційній колоні розроблено контур 7. Він включає в себе наступні технічні засоби автоматизації: термоперетворювач, типу ТСП (7-1), перетворювач сигналу від термометра опору ТСП (7-2), автоматичний показувальний і реєструвальний мікропроцесорний вторинний прилад з вбудованим ПІД-регулятором (7-3), регулювальний клапан (7-4).

Для контролю та регулювання температури сировини в парогенераторі розроблено контур 8. Він включає в себе наступні технічні засоби автоматизації: термоперетворювач, типу ТСП (8-1), перетворювач сигналу від термометра опору ТСП (8-2), автоматичний показувальний і реєструвальний мікропроцесорний вторинний прилад з вбудованим ПІД-регулятором (8-3), регулювальний клапан (8-4).

Для контролю та регулювання витрати сировини на вході в парогенератор розроблено контур 9. Він включає в себе наступні технічні засоби автоматизації ТЗА: діафрагма камерна (9-1), дифманометр безшкальний із квадратичною функцією перетворення (9-2), прилад вторинний пневматичний показувальний реєструвальний, зі станцією керування (9-3), регулятор пневматичний пропорційно-інтегральний (система СТАРТ) (9-4), механізм виконавчий пневматичний прямої дії з позиціонером ПП-1.25 і боковим дублером (9-5), перетворювач пневмоелектричний (9-6), перетворювач електропневматичний (9-7).

Для контролю та регулювання сировини на вході в теплообмінник 6 розроблено контур 10. Він включає в себе наступні технічні засоби автоматизації ТЗА: діафрагма камерна (10-1), дифманометр безшкальний із квадратичною функцією перетворення (10-2), прилад вторинний пневматичний

					ЛНЗ11МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						127
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

показувальний реєструвальний, зі станцією керування (10-3), регулятор пневматичний пропорціонально-інтегральний (система СТАРТ) (10-4), механізм виконавчий пневматичний прямої дії з позиціонером ПП-1.25 і боковим дублером (10-5), перетворювач пневмоелектричний (10-6), перетворювач електропневматичний (10-7).

Для контролю та регулювання температури сировини в теплообміннику 6 розроблено контур 11. Він включає в себе наступні технічні засоби автоматизації: термоперетворювач, типу ТСП (11-1), перетворювач сигналу від термометра опору ТСП (11-2), автоматичний показувальний і реєструвальний мікропроцесорний вторинний прилад з вбудованим ПД-регулятором (11-3), регулювальний клапан (11-4).

Контур для дистанційного керування роботою електромотора М1 забезпечує дистанційне вмикання і вимикання живлення. Вмикання виконується за допомогою кнопки SB2, яка має назву «ПУСК». При натисканні загорається сигнальна лампочка HL5 зеленим кольором. Вимикання виконується за допомогою кнопки SB1, яка має назву «СТОП». При натисканні загорається сигнальна лампочка HL4 червоним кольором. Також контур містить кнопку запобіжного вимикання KB1.

РОЗРАХУНОК ПОХИБОК ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ

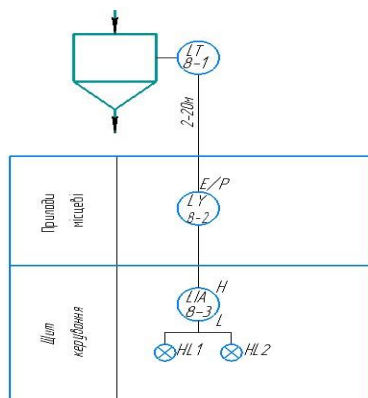
1. Розробити схему системи автоматичного контролю рівня сировини в гомогенізаційному силосі в діапазоні 2...20 м з виведенням вимірювальної інформації на пневматичний вторинний прилад і забезпеченням реєстрації контрольованого параметра. Запропонувати необхідні для її реалізації технічні засоби автоматизації.

2. Розробити структурну схему вимірювального каналу рівня сировини в гомогенізаційному силосі для п. 1.

3. Розрахувати сумарну похибку розробленого вимірювального каналу величини температури димових газів (довірчу імовірність взяти такою, що дорівнює 0,95), підібравши ЗВТ з відповідними метрологічними характеристиками.

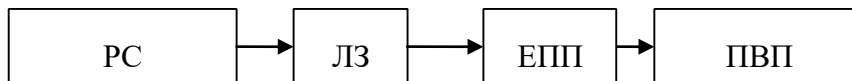
					ЛНЗ11МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						128
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виконання завдання:



Комплект технічних засобів: 8-1 – рівнемір для сипких матеріалів з уніфікованим електричним вихідним сигналом; 8-2 – електропневматичний перетворювач; 8-3 – пневматичний вторинний прилад показувальний із пристроєм пневмосигналізації ПКП.1П; HL1, HL2 – лампи сигнальні пневматичні.

Структурну схему розробленого контура автоматичного контролю температури представимо у вигляді:



Використані позначення: РС – рівнемір безконтактний з уніфікованим електричним вихідним сигналом; ЛЗ – лінії зв'язку; ЕПП – електропневматичний перетворювач; ПВП – пневматичний вторинний прилад.

Виберемо необхідні ТЗА, що відповідають умовам задачі: рівнемір щуповий для сипких і пилоподібних матеріалів УРМ-10А з діапазоном вимірювання (ДВ): 0...20 м, вихідним сигналом $I_{\text{вих}} = 4...20$ мА; лінії зв'язку (ЛЗ) класу точності 0,4; електропневматичний перетворювач МТМ 810 з $I_{\text{вх}} = 0...5$ мА, $P_{\text{вих}} = 20...100$ кПа і класом точності 0,5; пневматичний вторинний прилад класу точності 0,5 показувальний із пристроєм пневматичної сигналізації ПКП.1П. Для ТО з класом допуску 2 граничнодопустиме відхилення при 300°C становить $\Delta t_{\text{доп}} = 2,5^\circ\text{C}$.

Граничнодопустима абсолютна похибка рівнеміра УРМ-10А:

$$\Delta t_{\text{допУРМ}} = \pm 0,05 \text{ м.}$$

Згідно з довірчою ймовірністю $P_d = 0,95$, для кожного елемента розрахуємо середньо-квадратичну похибку в абсолютних значеннях за виразом $\Delta_{0,95} = K_{H0,95} \sigma$. Середньо-квадратична похибка для рівнеміра УРМ-10А становитиме:

$$\sigma_{\text{УРМ}} = \frac{\Delta t_{\text{допУРМ}}}{K_{H0,95}} = \frac{0,05}{1,96} = 0,026 \text{ м.}$$

Визначимо граничнодопустимі абсолютну та середньо-квадратичну похибки для ліній зв'язку:

$$\Delta_{\text{допЛЗ}} = \frac{K_{T_{\text{ЛЗ}}} \cdot \text{ДВ}}{K_{H0,95}} = \frac{0,4 \cdot (20 - 2)}{100} = 0,072 \text{ м;}$$

$$\sigma_{\text{ЛЗ}} = \frac{\Delta_{\text{допЛЗ}}}{K_{H0,95}} = \frac{0,072}{1,96} = 0,037 \text{ м;}$$

Граничнодопустимі абсолютна та середньо-квадратична похибки електропневматичного перетворювача:

$$\Delta_{\text{допЕПП}} = \frac{K_{T_{\text{ЕПП}}} \cdot \text{ДВ}}{100} = \frac{0,5 \cdot (20 - 2)}{100} = 0,09 \text{ м;}$$

$$\sigma_{\text{ЛЗ}} = \frac{\Delta_{\text{допЕПП}}}{K_{H0,95}} = \frac{0,09}{1,96} = 0,046 \text{ м.}$$

Граничнодопустимі абсолютна та середньо-квадратична похибки пневматичного вторинного прилада ПКП.1П:

$$\Delta_{\text{допПКП}} = \frac{K_{T_{\text{ПКП}}} \cdot \text{ДВ}}{100} = \frac{0,5 \cdot (20 - 2)}{100} = 0,09 \text{ м;}$$

					ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						130
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_{\text{ПКП}} = \frac{\Delta_{\text{доп}_{\text{ПКП}}}}{K_{H_{0,95}}} = \frac{0,09}{1,96} = 0,046\text{м.}$$

Розрахуємо середньо-квадратичну абсолютну похибку вимірювального каналу:

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{ВК}} &= \sqrt{\sigma_{\text{УРМ}}^2 + \sigma_{\text{ЛЗ}}^2 + \sigma_{\text{ЕПП}}^2 + \sigma_{\text{ПКП}}^2} = \\ &= \sqrt{0,026^2 + 0,037^2 + 0,046^2 + 0,046^2} = 0,079\text{м.}\end{aligned}$$

Розрахуємо допустиму абсолютну похибку вимірювального каналу:

$$\Delta_{\text{доп}_{\text{ВК}}} = \pm K_{H_{0,95}} \sigma_{\text{ВК}} = \pm 1,96 \cdot 0,079 = 0,155\text{м}$$

та допустиму зведену похибку вимірювального каналу:

$$\gamma_{\text{доп}_{\text{ВК}}} = \pm \frac{\Delta_{\text{доп}_{\text{ВК}}}}{ДВ_{\text{макс}}} \cdot 100\% = \frac{0,155}{20} \cdot 100\% = 0,775\%$$

Таким чином, аналізований вимірювальний канал рівня відповідає класу точності 1, а дійсне значення вимірюваного рівня $h_d = h_{\text{вим}} \pm 0,155\text{м}$ з імовірністю $P_d = 0,95$.

					ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						131
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток Б
Документація до патентного дослідження

					ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						132
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток Б. Патентний пошук

Для знаходження об'єктів порівняння та перевірки патентної чистоти конструкції проведений патентний пошук.

РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ №ЛНЗ11мп.1.ДП

Найменування теми ректифікаційна колона шифр теми
ЛНЗ11мп.066341.001

Етап Проектування апарата та його основних частин

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень

ЛНЗ11мп.10.10.2022

					ЛНЗ11МП.066341.001 ПЗ	Арк.
						133
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обґрунтування регламенту пошуку:

Предмет пошуку – 1) ректифікаційна колона; 2) тип і конструкція насадки (Об'єктом пошуку є винаходи й корисні моделі).

Мета пошуку інформації – визначення патентної ситуації щодо ректифікаційної колони (визначення патентоздатності проєктованого апарата й визначення тенденцій розвитку даного напрямку в техніці)

Визначення держав пошуку. Встановлюємо такі держави пошуку: Україна, Сполучені Штати Америки, Китай.

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

Класифікаційні індекси. Міжнародна патентна класифікація: МПК - F28D 1/00, F28D 1/053, F28D 7/00, F28F 1/42, F28F 9/00, F28F 9/02, F28F 9/12, F28F 13/00

Джерела інформації. 1) Патентна інформація: описи до винаходів, офіційні патентні бюлетені Укрпатенту. 2) Науково-технічна інформація: монографії з технології сушіння, підручники й навчальні посібники з курсу процесів та апаратів хімічної технології.

Початок пошуку 10.10.2022

Закінчення пошуку 22.10.2022

					ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						134
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Мета пошуку інформації	Держава пошуку	Класифікаційні індекси: МПК, НПК, МКПЗ, МКТП, УДК	Ретро-спективність пошуку	Джерела інформації
1	2	3	4	5	6
Ректифікаційна колона	Визначення патенто-здатності проектного апарату й визначення тенденції розвитку цього напрямку в техніці	Україна, Сполучені Штати Америки, Китай.	МПК4 – МПК7 – F 26 В 25/16,23/0 2; F 26 В 11/04 УДК 66.047.1	2022	Національні й зарубіжні офіційні бюлетені, описи винаходів і корисних моделей;
Тип та конструкція внутрішнього барабану			МПК4 – МПК7 – F 26 В 25/16,23/0 2; F 26 В 11/04 УДК 66.047.1		Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1983.– 272 с.

ДОВІДКА ПРО ПОШУК № ЛНЗ11мп.066341 ДП

Завдання на проведення патентних досліджень: ЛНЗ11мп.066341,
10.10.2022.

Етап: проектування апарата та його складових частин.

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень:
ЛНЗ11мп.066341, 10.10.2022.

Номер, дата регламенту пошуку: ЛНЗ11мп.066341, 10.10.2022.

Початок пошуку: 10.10.2022 Закінчення пошуку: 22.10.2022

					ЛНЗ11МП.066341.001 ПЗ	Арк.
						136
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця Б.2 – Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, його складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	Бібліографічні дані	Відомості щодо їхньої дії
1	2	3
Ректифікаційна колона	Патент № CN 217041345 U, B01D 3/00 Ректифікаційна колона / Лі Хайтінг. – Оубл. 26.07.2022.	Діє
Ректифікаційна колона	Патент № CN 216653440 U, B01D 3/14 Ректифікаційна колона / Лу Цзюньфен. – Оубл. 03.06.2022.	Діє
Ректифікаційна колона	Патент № CN 217409764 U, B01D 29/03 Ректифікаційна колона / Чжун Юде. – Оубл. 13.09.2022.	Діє
Ректифікаційна колона	Патент № 217367196 U, B01D 3/14. Ректифікаційна колона / Ян Лінсон. – Оубл. 13.09.2022.	Діє
Ректифікаційна колона	Патент № CN 217041343 U, B01D 3/00 Ректифікаційна колона / Ні Цзюньбяо. – Оубл. 26.07.2022.	Діє

Для знаходження об'єктів порівняння та перевірки патентної чистоти конструкції проведений патентний пошук.

РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ №ЛНЗ11мп.1.ДП

Найменування теми парогенератор шифр теми ЛНЗ11мп.066341.001

Етап Проектування апарата та його основних частин

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень

ЛНЗ11мп.10.10.2022

Обґрунтування регламенту пошуку:

Предмет пошуку – 1) парогенератор; 2) тип і конструкція насадки (Об'єктом пошуку є винаходи й корисні моделі).

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

Визначення держав пошуку. Встановлюємо такі держави пошуку: Україна, Сполучені Штати Америки, Китай.

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

Класифікаційні індекси. Міжнародна патентна класифікація: МПК - F28D 1/00, F28D 1/053, F28D 7/00, F28F 1/42, F28F 9/00, F28F 9/02, F28F 9/12, F28F 13/00

Джерела інформації. 1) Патентна інформація: описи до винаходів, офіційні патентні бюлетені Укрпатенту. 2) Науково-технічна інформація: монографії з технології сушіння, підручники й навчальні посібники з курсу процесів та апаратів хімічної технології.

Початок пошуку 10.10.2022

Закінчення пошуку 22.10.2022

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

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Мета пошуку інформації	Держава пошуку	Класифікаційні індекси: МПК, НПК, МКПЗ, МКТП, УДК	Ретроспективність пошуку	Джерела інформації
1	2	3	4	5	6
Ректифікаційна колона	Визначення патенто-здатності проектного апарату й визначення тенденції розвитку цього напрямку в техніці	Україна, Сполучені Штати Америки, Китай.	МПК4 – МПК7 – F 26 В 25/16,23/0 2; F 26 В 11/04 УДК 66.047.1	2022	Національні й зарубіжні офіційні бюлетені, описи винаходів і корисних моделей;
Тип та конструкція внутрішнього барабану			МПК4 – МПК7 – F 26 В 25/16,23/0 2; F 26 В 11/04 УДК 66.047.1		Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1983.– 272 с.

ДОВІДКА ПРО ПОШУК № ЛНЗ11мп.066341 ДП

Завдання на проведення патентних досліджень: ЛНЗ11мп.066341,
10.10.2022.

Етап: проектування апарата та його складових частин.

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень:
ЛНЗ11мп.066341, 10.10.2022.

Номер, дата регламенту пошуку: ЛНЗ11мп.066341, 10.10.2022.

Початок пошуку: 10.10.2022 Закінчення пошуку: 22.10.2022

					ЛНЗ11МП.066341.001 ПЗ	Арк.
						140
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця Б.2 – Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, його складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	Бібліографічні дані	Відомості щодо їхньої дії
1	2	3
Парогенератор	Патент № CN 217057496 U, F22B 37/00. Парогенератор / Ху Бін. – Опубл. 26.07.2022.	Діє
Парогенератор	Патент № CN 114413240 A, F22B 1/28 Парогенератор / Ян Ху. – Опубл. 29.04.2022.	Діє
Парогенератор	Патент № CN 114607995 A, F22B 1/28 Парогенератор / Лю Міншу. – Опубл. 10.06.2022.	Діє
Парогенератор	Патент № CN 216868460 U, F22B 37/26. Парогенератор / Ху Руго. – Опубл. 07.01.2022.	Діє
Парогенератор	Патент № CN 216769390 U, F22B 1/00 Парогенератор / Се Сінвень. – Опубл. 17.06.2022.	Діє

Додаток В
CFD аналіз роботи ковпачка ректифікаційної колони

					ЛНЗ11МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						142
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Процес розділення рідких сумішей на практично чисті компоненти шляхом застосування методу багаторазової дистиляції, проведеної в ректифікаційній колоні називається ректифікацією. Цей процес широко застосовується в хімічній промисловості, зокрема для очистки бензолу. Геометричні параметри системи ректифікації, особливо форма колони значним чином впливають на якість продукції та затрати енергії при виробництві. В схемі виробництва бензолу [1] ректифікаційна колона використовується для його очистки. Було проведено патентний пошук для виявлення недоліків ректифікаційних колон з метою їх усунення та покращення процесу ректифікації. Зокрема було виявлено, що значну роль відіграє ковпачок, який розміщується на тарілці ректифікаційної колони. При аварійному збільшенні витрат пари нема падає продуктивність колони, оскільки пара не встигає проходити далі. Було прийнято рішення по встановленні додаткової пластини на ковпачку з отворами і тоді при аварійному збільшенні витрат пари пластина буде підійматись і зайва пара буде виходити.

Мета даної роботи – перевірити наскільки ефективна розроблена конструкція ковпачка числовими методами.

Матеріали та методи

CFD-моделювання (Computational Fluid Dynamics modeling) – один із підрозділів механіки суцільних середовищ. Таке моделювання дозволяє обчислювати характеристики потокових процесів за допомогою обчислювальних та фізико-математичних методів. CFD-моделювання дозволяє оцінити температуру та змодельовати рух повітряних потоків або потоків рідини у діючому або проектуваному центрі обробки даних. При використанні методики CFD-моделювання необхідно пройти такі етапи: –

					<i>ЛНЗ11МП.06634.1.001 ПЗ</i>	Арк.
						143
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підготовчий (формулювання геометрії моделі, необхідних фізичних умов та ін.) – Розрахунок (чисельне вирішення основних рівнянь за базовими фізичними параметрами) – Аналіз (відображення результатів у вигляді графіків, таблиць та ін.) Для будь-якого дослідження в галузі гідродинаміки необхідно використовувати систему з наступних основних рівнянь гідрогазодинамічних потоків (рівняння нерозривності, збереження імпульсу та ін.) та вибрати один із методів вирішення цієї системи (метод кінцевих різниць, метод скінченних об'ємів та ін.).

Комп'ютерне моделювання здійснювалося в середовищі SOLIDWORKS за допомогою модуля Flow Simulation, що використовує метод скінченних об'ємів. В основі методу лежить розбиття області на контрольні об'єми (елементи), що не перетинаються, вузлові точки, в яких шукається рішення. Вузлові точки знаходяться в центрах контрольних обсягів. Також, як і для методу кінцевих різниць, для кожного елемента складається рівняння, виходить система лінійних рівнянь. Вирішуючи її - знаходимо значення шуканих змінних у вузлових точках.

Результати та їх обговорення

Для вдосконалення лопаті перемішуючого пристрою було проаналізовано патенти [4], [5], [6], [7], [8] На їх основі було придумано конструкцію ковпачка, модель якої наведено на рисунку В.1.

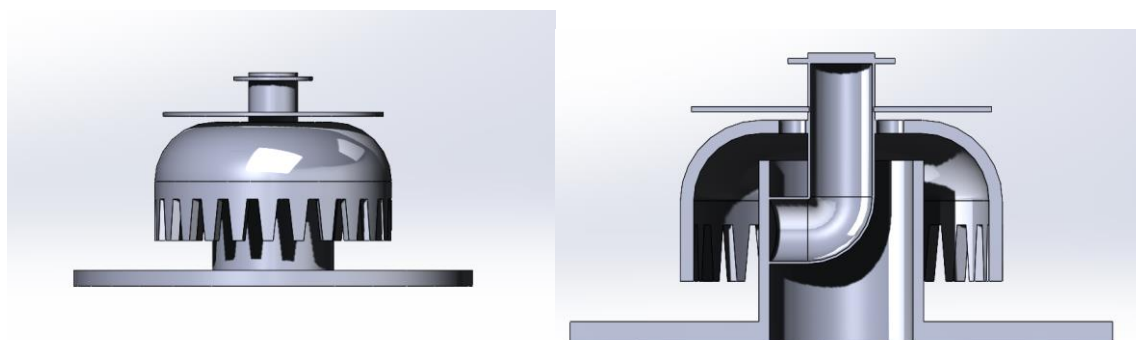


Рисунок В.1 – Модель ковпачка

В основі модернізованої конструкції лежить конструкція ковпачка ректифікаційної колони, з додатковою пластиною зверху. При аварійному збільшенні витрат пари не падає продуктивність колони, оскільки пара не встигає проходити далі. Було прийнято рішення по встановленні додаткової пластини на ковпачку з отворами і тоді при аварійному збільшенні витрат пари пластина буде підійматись і зайва пара буде виходити.

В модулі SOLIDWORKS Flow Simulation було здійснено моделювання руху потоків повітря крізь ковпачок з закритою пластиною та відкритою. Результати зображені на рисунках В.2 та В.3.

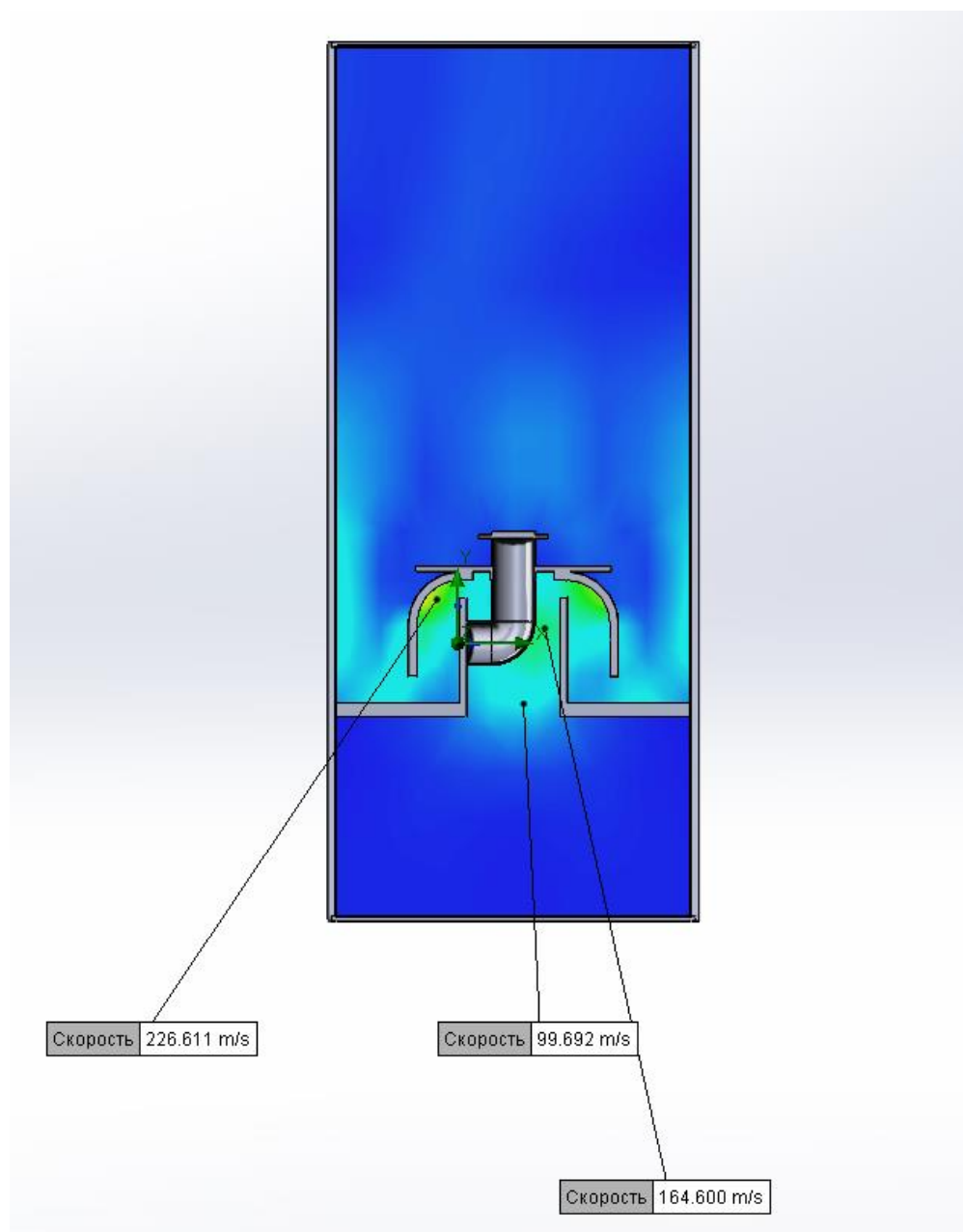


Рисунок В.2 – Візуалізація потоку повітря з закритою пластиною

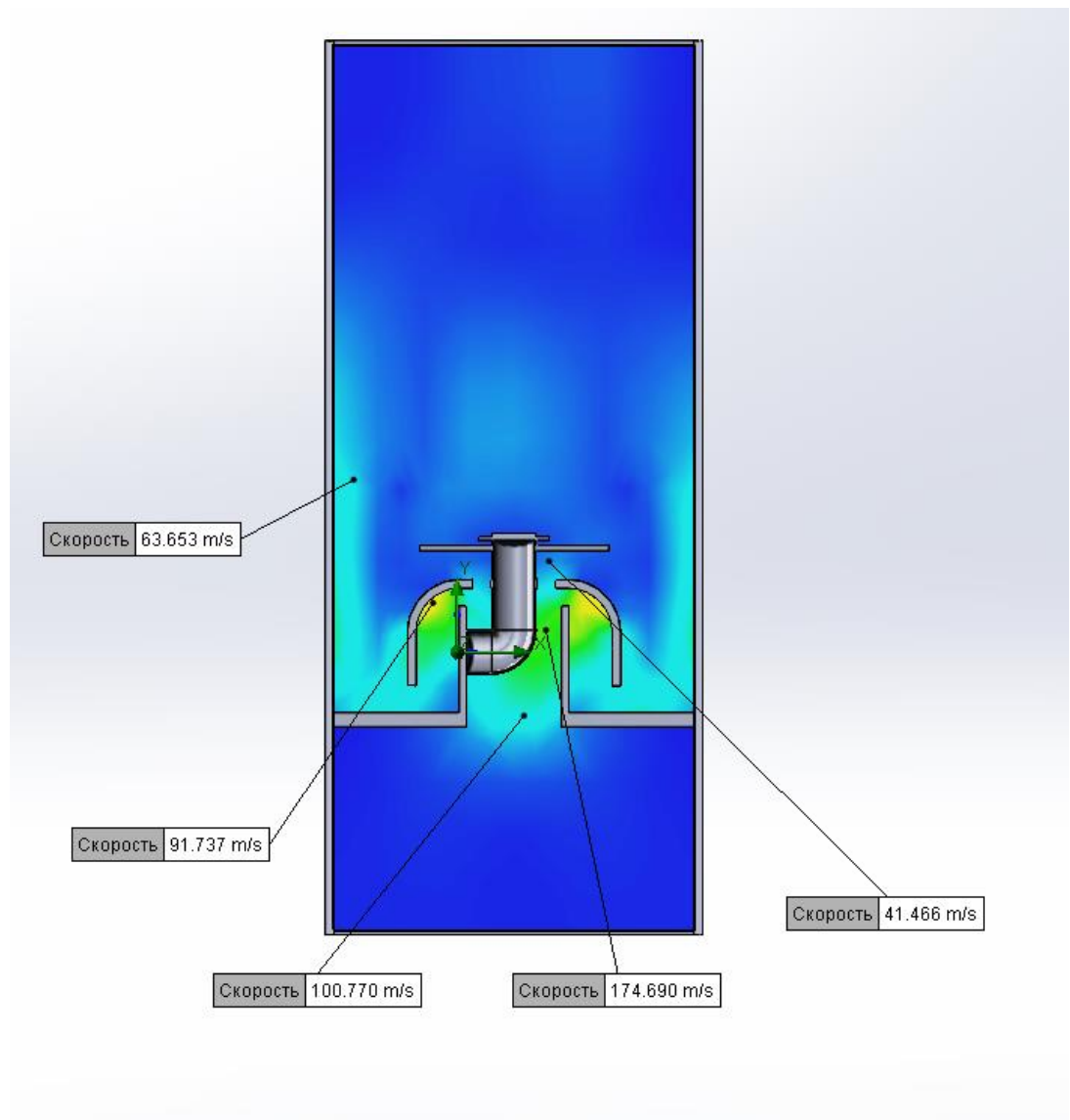


Рисунок В.3 – Візуалізація потоку повітря з відкритою пластиною

Візуалізація показує, що при роботі ковпачка з відкритою пластиною пара проходить краще, що дозволяє при аварійному збільшенні витрат не втрачати продуктивність.

Висновки

Результати моделювання показують, що така конструкція ковпачка ефективна і може бути рекомендована до подальших більш детальних експериментальних досліджень.

Додаток Г
Комп'ютерний розрахунок елементів апарата

					ЛНЗ11МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						147
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Програмний розрахунок циліндричної частини колони

На рисунку Г.1 зображено блок-схему до розрахунку товщини стінки циліндричної обичайки навантаженої внутрішнім тиском.



Рисунок Г.1 – Блок – схема розрахунку товщини стінки циліндричної обичайки

Програмний розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки навантаженої внутрішнім тиском.

$$\begin{aligned}
 D &:= 1.4 \\
 P &:= 0.66 \\
 dop &:= 133 \\
 \gamma &:= 0.9 \\
 C &:= 1 \cdot 10^{-3} \\
 S_r &:= \frac{P \cdot D}{2 \cdot dop \cdot \gamma - P} = 3.87 \times 10^{-3} \\
 S_{kmin} &:= S_r + C = 4.87 \times 10^{-3} \\
 S_k &:= 5 \cdot 10^{-3} \\
 P_{dop} &:= \frac{[2 \cdot dop \cdot \gamma \cdot (S_k - C)]}{D + (S_k - C)} = 0.682 \\
 0,66 &< 0,682
 \end{aligned}$$

Ідентифікатори роз'яснені в таблиці Г. 1.

Таблиця Г. 1 – Перелік ідентифікаторів

Найменування величин	Позначення	Ідентифікатор	Розмірність
Діаметр колони	D	D	м
Розрахунковий тиск	P_R	Pr	МПа
Допустиме напруження	$[\sigma]$	dop	МПа
Коефіцієнт зварного шва	φ	γ	
Розрахункова товщина стінки	S_R	Sr	м
Сумарна прибавка	C	C	м
Мінімальна товщина стінки	$S_{K min}$	Skmin	м
Товщина стінки	S_K	Sk	м
Допустимий тиск	$[P]$	Pdop	МПа

Результати розрахунків за програмою розрахунку товщини стінки циліндричної обичайки навантаженої внутрішнім тиском приведені в таблиці Г.2

Таблиця Г. 2 – Результати розрахунку

Найменування величин	Позначення	Числове значення	Розмірність
Розрахункова товщина стінки	S_R	$2,345 \cdot 10^{-3}$	м
Мінімальна товщина стінки	$S_{K \min}$	$3,345 \cdot 10^{-3}$	м
Товщина стінки	S_K	$5 \cdot 10^{-3}$	м
Допустимий тиск	$[P]$	0,954	МПа

Приймаємо товщину стінки циліндричної обичайки навантаженої внутрішнім тиском $S_K = 5$ мм.

Додаток Д
Патенти, які використані в патентному дослідженні

					<i>ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ</i>	Арк.
						151
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



(21) 申请号 202220828434.0

(22) 申请日 2022.04.09

(73) 专利权人 莒南国泰化工有限公司

地址 276000 山东省临沂市莒南经济开发区淮海路西段南侧

(72) 发明人 李海亭 朱孟泽 吴栋 丛时猛

(74) 专利代理机构 山东诚杰律师事务所 37265

专利代理师 王志强

(51) Int.Cl.

B01D 3/00 (2006.01)

B01D 3/42 (2006.01)

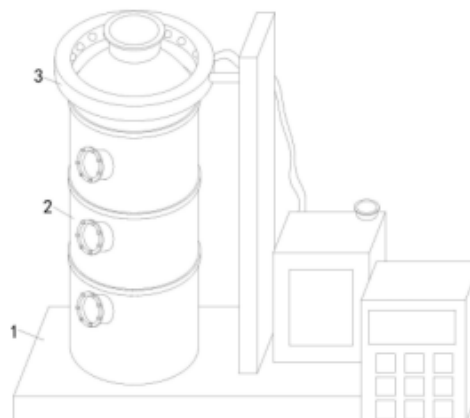
权利要求书1页 说明书3页 附图5页

(54) 实用新型名称

一种多级化工用的蒸馏塔结构

(57) 摘要

本实用新型公开了一种多级化工用的蒸馏塔结构,涉及蒸馏塔技术领域。包括地基、蒸馏塔架构和冷却降温结构,所述地基的顶部固定安装有蒸馏塔架构、冷却降温结构和控制面板,所述冷却降温结构包括水箱和驱动板,所述驱动板的顶端滑动连接有外套环,所述外套环套设在蒸馏塔架构的外侧,所述水箱的出水端与外套环相连通。利用温度传感器可实时监测蒸馏塔顶端的温度,当温度过高时可配合水泵将水箱中的冷却液通过高压喷头喷洒向蒸馏塔顶端,再配合驱动电机通过丝杆带动外套环进行竖直方向的滑动,使得高压喷头可对蒸馏塔的多个位置进行全方位降温处理,从而避免了因蒸馏塔长时间工作导致蒸馏塔顶端温度过高容易造成发生火灾的安全隐患。



217041345 U

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ

Арк.

152



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 216653440 U

(45) 授权公告日 2022.06.03

(21) 申请号 202220058481.1

(22) 申请日 2022.01.11

(73) 专利权人 潍坊市环海化工有限公司

地址 261100 山东省潍坊市寒亭区固堤街
办潍北农场五分厂内

(72) 发明人 路珺峰

(51) Int. Cl.

B01D 3/14 (2006.01)

B01D 3/32 (2006.01)

B01D 3/00 (2006.01)

C01B 7/09 (2006.01)

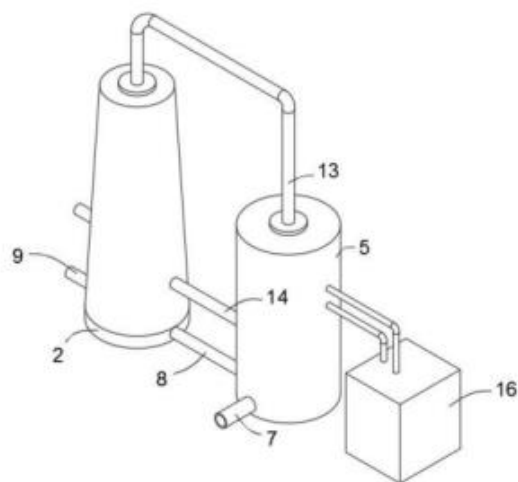
权利要求书1页 说明书3页 附图2页

(54) 实用新型名称

一种溴素生产专用蒸馏塔

(57) 摘要

本实用新型公开了一种溴素生产专用蒸馏塔,包括蒸馏内塔体,所述蒸馏内塔体外部设置有保温外塔,所述蒸馏内塔体外侧壁缠绕设置有预热输送管,所述保温外塔通过蒸汽输送管连接有冷却室,所述冷却室内设置有倒置冷却塔,所述倒置冷却塔内设置有循环水机构,所述冷却室底部设置有收集口,所述冷却室通过回流管与保温外塔相连通。本实用新型通过合理的设计蒸馏塔的结构,使得完成物经过完成物输送管进行输送过程中,与下沉的溴气进行接触,下沉的溴气会对预热输送管内的完成物进行有效加热,低温的完成物会实现对溴气的降温,从而实现对热量的相互利用,确保完成物进入蒸馏塔反应的安全性的同时,也能更加节约能耗。



3440 U



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 217409764 U

(45) 授权公告日 2022. 09. 13

(21) 申请号 202220351543.8

(22) 申请日 2022.02.21

(73) 专利权人 青岛帝勋洋酒有限公司

地址 266000 山东省青岛市即墨区龙泉街
道埠惜路22号

(72) 发明人 邵佳 钟裕德

(74) 专利代理机构 北京中创博腾知识产权代理
事务所(普通合伙) 11636

专利代理师 戴鹏

(51) Int. Cl.

B01D 3/00 (2006.01)

B01D 29/03 (2006.01)

B01D 24/08 (2006.01)

B01D 29/96 (2006.01)

B01D 35/02 (2006.01)

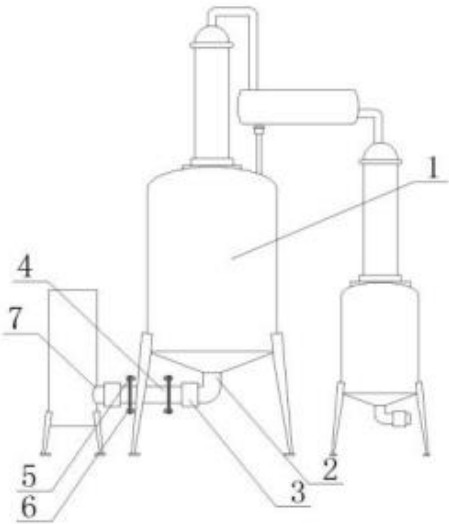
权利要求书1页 说明书3页 附图2页

(54) 实用新型名称

一种蒸馏塔

(57) 摘要

本实用新型公开了一种蒸馏塔,包括塔体,所述塔体的下端贯穿设有输送管,所述输送管的一侧设有供料管,所述输送管和供料管之间共同可拆卸连接有连接管,所述连接管内可拆卸连接有套管,所述套管的两端均开设有开口,所述开口内安装有滤网,所述套管内安装有填料,所述填料和两个滤网相抵触。本实用新型便于快速进行安装拆卸,方便对其进行检修更换和维护,有助于保证过滤的质量,提升酒水最终产品的质量,同时还能通过密封垫避免出现泄漏的情况,避免出现浪费,降低生产成本。



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ

Арк.

154



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 217367196 U

(45) 授权公告日 2022. 09. 06

(21) 申请号 202220892599.4

(22) 申请日 2022.04.18

(73) 专利权人 山东元利科技有限公司

地址 262404 山东省潍坊市昌乐县朱刘工
业园山东元利科技有限公司1号门(72) 发明人 李义田 张玉茜 张大勇 李军刚
杨林松(74) 专利代理机构 山东华君知识产权代理有限
公司 37300

专利代理师 李艳

(51) Int. Cl.

B01D 3/14 (2006.01)

B01D 3/32 (2006.01)

C07C 31/20 (2006.01)

C07C 29/80 (2006.01)

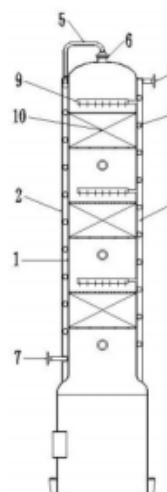
权利要求书1页 说明书3页 附图3页

(54) 实用新型名称

一种1,4-丁二醇制备用新型蒸馏塔

(57) 摘要

本实用新型公开了一种1,4-丁二醇制备用新型蒸馏塔,包括蒸馏塔本体,蒸馏塔本体外部设有夹套,蒸馏塔本体与夹套之间设有换热夹腔,换热夹腔内部设有螺旋管,螺旋管的内圈与蒸馏塔本体外壁面固定连接,螺旋管的外圈与夹套内壁面固定连接;螺旋管的顶端与连通管的一端固定连接,连通管的另一端与气相出口相连接,气相出口位于蒸馏塔本体的内腔顶部;所述蒸馏塔本体内腔中安装有多个呈纵向排列的液体分布器,液体分布器均与换热夹腔相连通。本实用新型提供一种1,4-丁二醇制备用新型蒸馏塔,可以将待蒸馏的液相物料与蒸馏出的气相物料进行换热,便于后续的蒸馏以及冷凝,可以在蒸馏过程中减少蒸汽量的浪费,利于节能减排。



7196 U



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 217041343 U

(45) 授权公告日 2022. 07. 26

(21) 申请号 202220702948.1

(22) 申请日 2022.03.29

(73) 专利权人 浙江凯德化工有限公司

地址 312300 浙江省绍兴市杭州湾上虞经济
济技术开发区

(72) 发明人 盛芳 王银军 宋耀杰 潘剑理
倪军标

(74) 专利代理机构 绍兴上虞鸿鸣知识产权代理
事务所(普通合伙) 33363

专利代理师 马鸿杰

(51) Int. Cl.

B01D 3/00 (2006.01)

B02C 18/08 (2006.01)

B02C 13/18 (2006.01)

B08B 9/087 (2006.01)

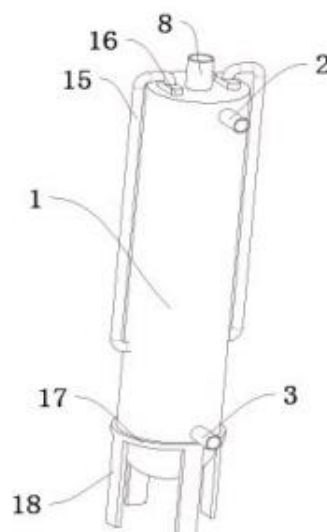
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 实用新型名称

一种具有自清洗结构的密封型蒸馏塔

(57) 摘要

本实用新型公开了一种具有自清洗结构的密封型蒸馏塔,具体涉及蒸馏塔领域,包括壳体、进水管和出水管,进水管设在壳体的一侧,出水管设在壳体的外壁,壳体的内部设有加热器,壳体的内壁轴承连接有转柱,转柱的顶部固定安装有转杆,转杆的一侧设有扇叶,壳体的顶部设有出气管,扇叶设在出气管的内部,转柱的外壁设有转环,转环的一侧设有刀片,刀片滑动连接在壳体的内壁,转柱的一侧设有固定环,固定环的一侧设有搅拌棒。本实用新型通过设置了刀片和破碎钉,当蒸馏塔在蒸馏水时,通过出气管排出的水汽会带动扇叶转动,最终使转柱带动刀片和搅拌棒进行转动,解决了蒸馏塔内残留水垢会影响蒸馏塔蒸馏效率的问题。



1343 U

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ

Арк.

156



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 217057496 U

(45) 授权公告日 2022. 07. 26

(21) 申请号 202220776682.5

(22) 申请日 2022.04.06

(73) 专利权人 浙江鲨鱼食品机械有限公司

地址 323300 浙江省丽水市遂昌县工业园区毛田区块

(72) 发明人 胡冰

(74) 专利代理机构 杭州浙科专利事务所(普通合伙) 33213

专利代理师 陈向群

(51) Int. Cl.

F22B 37/00 (2006.01)

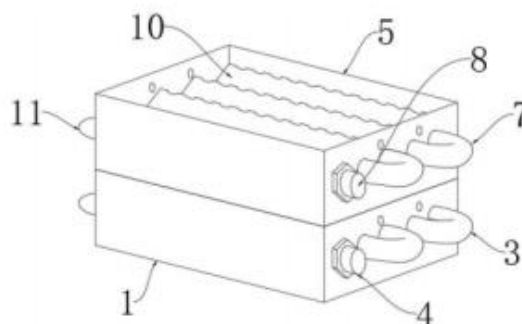
权利要求书1页 说明书2页 附图3页

(54) 实用新型名称

蒸汽发生器内胆

(57) 摘要

本实用新型公开了蒸汽发生器内胆,包括下内胆和上内胆,所述下内胆的内部固定安装有多个下翅片管,所述下内胆的外侧固定安装有多个小弯管,多个所述下翅片管之间通过小弯管一相互连通,所述上内胆的内部固定安装有多个上翅片管。该蒸汽发生器内胆,上内胆用于对水加热,下内胆用于产生蒸汽,通过进水口将水加入到上翅片管中,然后通过大弯管进入到下翅片管中,最终产生的蒸汽通过蒸汽出口排出,水和蒸汽在翅片管内部运动,通过设置的导流片增大翅片管内部的阻力,并且增加水的受热面积,下翅片管和上翅片管的顶面开设有五排通孔,下翅片管顶面的通孔内径大于上翅片管顶面的通孔内径,放置热量过多的在下内胆处聚集。



57496 U

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ

Арк.

157



(21) 申请号 202210084061.5

(22) 申请日 2022.01.25

(71) 申请人 深圳市创胜高科技有限公司

地址 518107 广东省深圳市光明区马田街
道新庄社区新围第四工业区A45栋302

(72) 发明人 于战胜

(74) 专利代理机构 深圳市正威知识产权代理事
务所(特殊普通合伙) 44643

代理人 柳大江

(51) Int. Cl.

F22B 1/28 (2006.01)

F22B 35/06 (2006.01)

F22B 37/44 (2006.01)

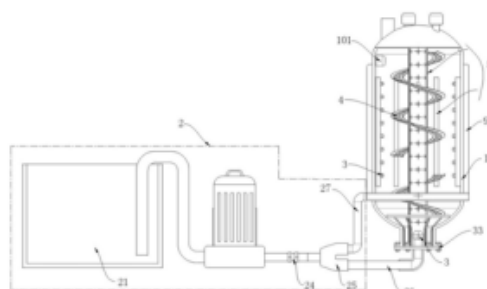
权利要求书2页 说明书7页 附图9页

(54) 发明名称

节水锅炉蒸汽发生器及控制系统

(57) 摘要

本发明公开了一种节水锅炉蒸汽发生器,包括蒸汽发生机构,所述蒸汽发生机构底部外接供水单元,所述蒸汽发生机构内分别设置有雾化单元、微震单元和加热单元,雾化单元,通过所述雾化单元将进入蒸汽发生器内部的水进行雾化;微震单元,雾化之后的水通过微震单元减少其损耗;加热单元,对雾化之后的水汽进行蒸汽处理,本发明只通过供水单元配合加热单元的使用就可直接产生蒸汽,减小蒸汽的损耗,降低能耗,节约资源,并且不易产生水垢,节约人员清理设备内部的时间,降低工人的工作强度,蒸汽含水量较低,减小对生产物件的损坏,减小尾气排出节约资源及保护环境。





(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114607995 A

(43) 申请公布日 2022.06.10

(21) 申请号 202210296129.6

(22) 申请日 2022.03.24

(71) 申请人 山东金一燃节能科技有限公司

地址 255432 山东省淄博市临淄朱台工业园

(72) 发明人 刘明册

(74) 专利代理机构 山东瑞宸知识产权代理有限公司 37268

专利代理师 葛新建

(51) Int. Cl.

F22B 1/28 (2006.01)

F22B 35/00 (2006.01)

A47J 27/04 (2006.01)

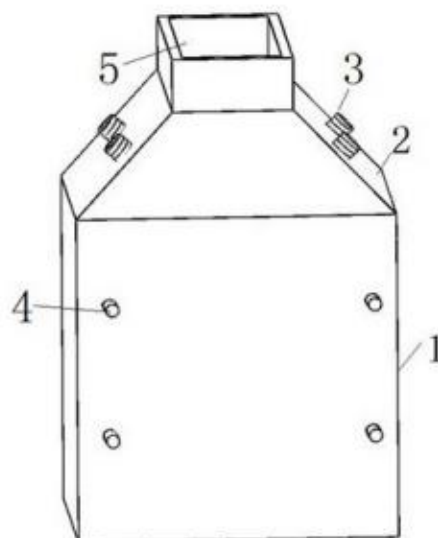
权利要求书1页 说明书4页 附图5页

(54) 发明名称

一种快速产生蒸汽的蒸汽发生器和蒸柜

(57) 摘要

本发明属于蒸汽发生器技术领域,具体涉及一种快速产生蒸汽的蒸汽发生器和蒸柜,蒸汽发生器包括主体、多个干烧电热丝和喷雾装置;所述主体包括下部结构和上部结构;多个所述干烧电热丝均衡安装在下部结构内,所述喷雾装置包括多个雾化喷嘴,多个所述雾化喷嘴均衡安装在上部结构上并能够向下部结构内喷洒雾化水;多个所述干烧电热丝的接线端伸出下部结构并分别与电源电性连接;所述上部结构开设有蒸汽排出口;相比现有技术,本发明中的蒸汽发生器不设水箱,多个干烧电热丝形成的高温区域将喷雾装置喷出的水雾直接转化为水蒸汽,产生蒸汽速率非常快;改变了蒸汽发生器的现状,实现了打开水管给蒸汽发生器供水就能立刻获得蒸汽的

A
906

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ

Арк.

159

(19) 国家知识产权局



(12) 实用新型专利



(10) 授权公告号 CN 216868460 U

(45) 授权公告日 2022.07.01

(21) 申请号 202220282055.6

(22) 申请日 2022.02.11

(73) 专利权人 芜湖艾尔达科技有限责任公司

地址 241000 安徽省芜湖市弋江区高新技术产业
开发区花津南路103号1#生产
厂房

(72) 发明人 胡如国 冯向兵 郭志英

(51) Int. Cl.

F22B 1/28 (2006.01)

F22B 37/26 (2006.01)

F22D 11/06 (2006.01)

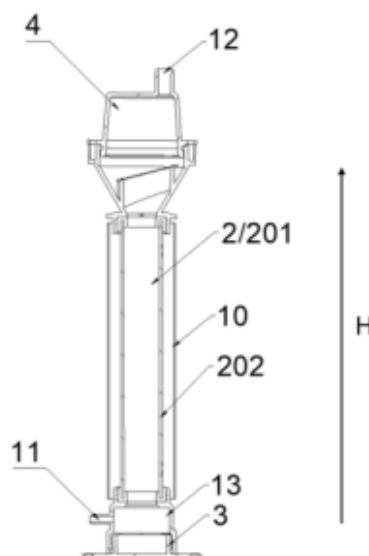
权利要求书2页 说明书5页 附图7页

(54) 实用新型名称

一种蒸汽发生器及蒸汽发生器系统

(57) 摘要

本实用新型公开了一种蒸汽发生器及蒸汽发生器系统,包括加热组件和气液分离器,所述气液分离器固定或限位于所述加热组件的一端,所述蒸汽发生器具有进水口和出气口,所述加热组件包括至少一根加热管,所述加热管内部具有流体加热通道,所述进水口、出气口和所述流体加热通道连通,所述流体加热通道与所述气液分离器的进口连通,所述气液分离器的出口为所述蒸汽发生器的出气口。本实用新型提供的蒸汽发生器及蒸汽发生器系统,水进入加热组件内快速汽化为蒸汽,蒸汽再进入气液分离器进行气液分离,水滴被阻隔,气体到达蒸汽发生器的出气口,从而获得干燥蒸汽。



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ

Арк.

160

(19) 国家知识产权局



(12) 实用新型专利



(10) 授权公告号 CN 216769390 U

(45) 授权公告日 2022.06.17

(21) 申请号 202220053453.0

(22) 申请日 2022.01.10

(73) 专利权人 广东美的环境电器制造有限公司

地址 528400 广东省中山市东凤镇东阜路
和穗工业园东区28号

(72) 发明人 谢歆雯 王凯 张乾 陈飞帆

(74) 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理
有限公司 11262

专利代理师 李蒙蒙 龙洪

(51) Int.Cl.

F22B 37/26 (2006.01)

F22B 1/00 (2006.01)

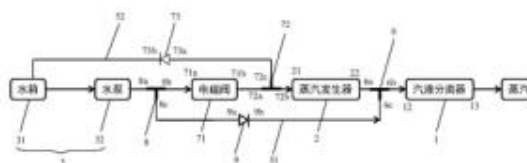
权利要求书2页 说明书12页 附图2页

(54) 实用新型名称

汽液分离器和蒸汽发生装置

(57) 摘要

本实用新型公开了一种汽液分离器和蒸汽发生装置。汽液分离器包括：本体和汽液分离结构，所述本体具有缓冲储液腔、蒸汽入口和蒸汽出口，所述蒸汽入口和所述蒸汽出口均与所述缓冲储液腔连通，所述蒸汽入口设置成与蒸汽发生器的出蒸汽的出汽口连通，所述汽液分离结构设置于所述缓冲储液腔内。该汽液分离器能够与蒸汽发生器配合使用，对蒸汽发生器产生的蒸汽进行汽液分离，防止蒸汽发生器喷水。



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ

Арк.

161

Додаток Е
Публікації автора

					<i>ЛНЗ11МП.06634.1.001 ПЗ</i>	Арк.
						162
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Публікації

Студента кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних
виробництв

Литвина Олександра В'ячеславовича

1. Oleksandr Lytvyn MODERNIZATION OF PETROL CLEANING PLANT WITH DEVELOPMENT OF RECTIFICATION COLUMN AND STEAM GENERATOR / Oleksandr Lytvyn, Hrihorii Podiman // Збірник тез доповідей XXI міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "РЕСУРСОЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ". – 2021. – с. 131 – 134.

2. Литвин О.В. МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ОЧИСТКИ БЕНЗОЛУ З РОЗРОБКОЮ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ ТА ПАРОГЕНЕРАТОРА / Литвин О.В., Степанюк А.Р., Іваницький Г.К. // Збірник тез доповідей XXIII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "РЕСУРСОЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ". – 2022. – с. 44 – 48.

3. O Lytvyn. MODERNIZATION OF PETROL CLEANING PLANT WITH DEVELOPMENT OF RECTIFICATION COLUMN [Електронний ресурс] / O. Lytvyn, A. Stepaniuk, G. Ivannytskii // Norwegian Journal of development of the International Science – 2022.

**MODERNIZATION OF PETROL CLEANING PLANT WITH
DEVELOPMENT OF RECTIFICATION COLUMN AND STEAM
GENERATOR**

Graduate student Litvin Alexander, lecturer assistant Podiman Hrihorii

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Abstract. *A description of the technological scheme of benzene purification is given. It is proposed to modernize the groups of devices to increase the efficiency of benzene purification.*

Keywords: BENZENE, DISTILLATION COLUMN, STEAM GENERATOR.

**МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ОЧИСТКИ БЕНЗОЛУ З РОЗРОБКОЮ
РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ ТА ПАРОГЕНЕРАТОРА**

Асистент Подиман Г.С., магістрант Литвин О.В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: *Наведено опис технологічної схеми очистки бензолу. Запропоновано модернізувати групи апаратів для підвищення ефективності очищення бензолу.*

Ключові слова: БЕНЗОЛ, РЕКТИФІКАЦІЙНА КОЛОНА,
ПАРОГЕНЕРАТОР

Benzene, or phenyl hydrogen, is an inorganic chemical compound. This type of liquid is colorless and flammable with a sweet odor. The toxic and carcinogenic compound is one of the most toxic in the human environment. The largest amount of benzene is in emissions from factories and smog. Unfortunately, no industrial enterprise can exist without benzene. Like unsaturated hydrocarbons, benzene burns with a highly smoky flame. Forms explosive mixtures with air, mixes well with ether, gasoline, and other organic solvents, with water forming an

Збірник тез доповідей XXI міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"
 azeotropic mixture with a boiling point of 69.25 ° C (91% benzene). Solubility in water 1.79 g / l (at 25 ° C) [1].

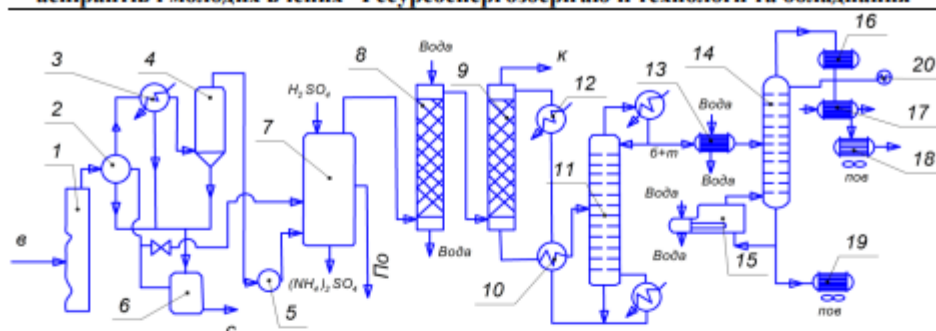
Benzene is the main component of gasoline. It is also used to create veterinary, medical products, synthetic rubber, dyes, plastics, and many other elements. It is also part of crude oil, but in industry, it is synthesized from other components.

Much of the obtained benzene is used for the synthesis of other products:

- about 50% of benzene is converted to ethylbenzene (alkylation of benzene with ethylene);
- about 25% of benzene is converted into cumene (alkylation of benzene with propylene);
- about 10-15% of benzene is hydrogenated to cyclohexane;
- about 10% of benzene is used for the production of nitrobenzene;
- 2-3% of benzene is converted into linear alkylbenzenes;
- approximately 1% of benzene is used for the synthesis of chlorobenzene.

The main sources of benzene are products of coking coal (coke oven gas and coal tar) and petroleum products. The resulting coke oven gas is passed through an efficient system of condensers and scrubbers to separate the products that are part of it (Figure 1) [2].

Volatile coking products (direct coke oven gas) from furnace 1 enter the risers in the gas collection pipe 2. There is the primary cooling and condensation of the gas due to the evaporation of ammonia water, which is injected into the pipe through special sprinklers. The coking products are cooled to 85-90 ° C, and some part condenses. From the gas collection pipe, coke oven gas enters refrigerator 3, which is cooled to 30-35 ° C, while condensing an additional amount of resin. The gas leaving the refrigerator contains a resin mist and for its separation passes an electrostatic precipitator 4, after which the gas blower 5 is sent to installation 7 for trapping ammonia and pyridine bases.



1 - coke oven; 2 - gas pipe; 3, 8, 12 - refrigerators; 4 - electrostatic precipitator; 5 - gas blower; 6 - separator; 7 - installation for the capture of ammonia and pyridine warnings; 9 - absorber; 10, 13, 16, 17, 18, 19 - heat exchangers; 11 - desorber; 14 - distillation column, 15 - steam generator; 20 - heater; в - coal; с - resin; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - ammonium sulfate; По - pyridine bases; κ - coke oven gas; б+т - crude benzene and toluene; пов - air

Figure 1 - Technological scheme of benzene purification

The condensate from gas pipe 2 of refrigerator 3 and the electrostatic precipitator 4 is divided in the separator 6 into organic and aqueous layers. The organic layer is a coal tar containing higher-boiling organic substances; it is sent for processing in a "tar" shop. The aqueous layer (ammonia water) is partially returned to the collecting pipe 2 for primary cooling of coking products and partially sent to the same place where the coke oven gas after the electrostatic precipitator: to installation 7. This installation has an ammonia evaporator from ammonia water, a saturator to absorb bases sulfuric acid, a crystallizer for ammonium sulfate, and an apparatus for displacing pyridine bases with ammonia from their sulfates.

The gas after installation 7 contains vapors of volatile organic compounds (benzene, toluene). To capture them, the gas is cooled with water in the refrigerator directly 8 mixings and sent to the absorber 9, irrigated with absorbent oil. The so-called reverse coke oven gas coming from the absorber is used to heat coke ovens. Much of the gas is sent for chemical processing. Saturated absorbent oil coming from the lower part of the absorber passes through the heat exchanger 10, which is

heated by the regenerated return oil and enters the desorber 11. There is a distillation, which distills a mixture of light aromatic compounds (crude benzene). The crude oil released from the crude benzene gives off heat to the saturated oil of the heat exchanger 10, is further cooled in the refrigerator 12, and is again used to absorb the benzene hydrocarbons from the coke oven gas.

Crude benzene is preferably a mixture of low-boiling aromatic hydrocarbons. It is processed to extract benzene, toluene, xylenes, and solvent (solvent oil). The processing of crude benzene is complicated by the presence of unsaturated compounds and sulfur-containing compounds (thiophene and its homologs), the boiling points of which are close to the boiling points of the basic substances. Therefore, the processing of crude benzene consists of two main processes: 1) purification of aromatic hydrocarbons from impurities of unsaturated and sulfur-containing compounds and 2) separation of the mixture of purified aromatic compounds by distillation [3].

The main method of purification is washing with concentrated sulfuric acid, followed by neutralization with an alkali solution. The processes of polymerization, copolymerization, condensation, and sulfonation form the so-called acid resin, products soluble in water and sulfuric acid and easily separated from hydrocarbons, and substances that are partially soluble in the hydrocarbons of the benzene series and are released during subsequent distillation 14 as VAT residues.

The work aims to modernize the distillation column and steam generator to improve the benzene purification process.

References:

1. Benzene: main properties, applications, features and benefits [Electronic resource] <https://kurs.if.ua/society/benzol-osnovni-vlastyvesti-zastosuvannya-osoblyvosti-ta-perevagy/>
2. Rusyanova ND Coal chemistry. - M.: Nauka, 2000. - 289 p.
3. Azimov AL Machines and equipment for coke batteries and peccoke plants. - M.: Metallurgiya, 1980. - 80p.

УДК 662.749.351

**MODERNIZATION OF PETROL CLEANING PLANT WITH
DEVELOPMENT OF RECTIFICATION COLUMN AND STEAM
GENERATOR**

graduate student Lytvyn Oleksandr, professor George Ivanytskyi,

associate professor, Ph.D Andrii Stepaniuk

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Abstract. *A description of the technological scheme of benzene purification is given. The main advantages and disadvantages of the existing apparatus are determined. It is proposed to modernize the existing apparatus to improve the efficiency of benzene purification.*

Keywords: BENZENE, DISTILLATION COLUMN, STEAM
GENERATOR.

**МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ОЧИСТКИ БЕНЗОЛУ З
РОЗРОБКОЮ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ ТА ПАРОГЕНЕРАТОРА**

магістрант Литвин О.В., д.т.н., проф. Іваницький Г.К.,

к.т.н, доц. Степанюк А.Р.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: Наведено опис технологічної схеми очистки бензолу. Визначено основні переваги і недоліки існуючого апарату. Запропоновано модернізацію існуючого апарату для підвищення ефективності очищення бензолу.

Ключові слова: БЕНЗОЛ, РЕКТИФІКАЦІЙНА КОЛОНА,
ПАРОГЕНЕРАТОР

Benzene, or phenyl hydrogen is an organic chemical compound with the molecular formula C_6H_6 . The benzene molecule is composed of six carbon atoms joined in a planar ring with one hydrogen atom attached to each. Because it contains only carbon and hydrogen atoms, benzene is classed as a hydrocarbon.

Like unsaturated hydrocarbons, benzene burns with a highly smoky flame. Forms explosive mixtures with air, mixes well with ether, gasoline, and other organic solvents, with water forming an azeotropic mixture with a boiling point of $69.25^\circ C$ (91% benzene). Solubility in water 1.79 g / l (at $25^\circ C$).

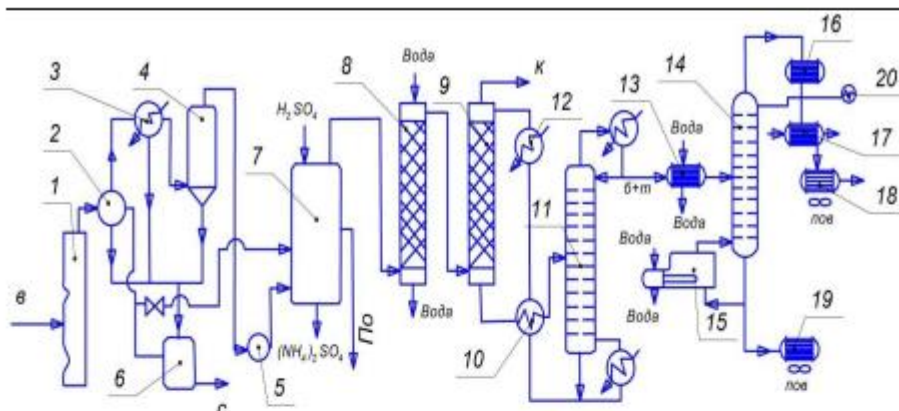
Benzene is a natural constituent of crude oil and is one of the elementary petrochemicals. Due to the cyclic continuous pi bonds between the carbon atoms, benzene is classed as an aromatic hydrocarbon. Although a major industrial chemical, benzene finds limited use in consumer items because of its toxicity.

Benzene is the main component of gasoline. It is also used to create veterinary, medical products, synthetic rubber, dyes, plastics, and many other elements. It is also part of crude oil, but in industry, it is synthesized from other components [1].

The main structure in the purification of benzene is the rectification column.

Rectification column is designed for separation of liquid mixtures, components of which feature different boiling points. The rectification column refers to a vertical cylinder with contact devices mounted inside [2].

The technological scheme of the benzene purification process is shown in Figure 1 [3].



1 - coke oven; 2 - gas pipe; 3, 8, 12 - refrigerators; 4 - electrostatic precipitator; 5 - gas blower; 6 - separator; 7 - installation for the capture of ammonia and pyridine warnings; 9 - absorber; 10, 13, 16, 17, 18, 19 - heat exchangers; 11 - desorber; 14 - distillation column, 15 - steam generator; 20 - heater; в - coal; с - resin; По - pyridine bases; κ - coke oven gas; б+т - crude benzene and toluene; пов - air

Figure 1 - Technological scheme of benzene purification

The main sources of benzene are coking coal products (coke gas and coal tar) and petroleum products. The resulting coke gas is passed through an efficient system of condensers and scrubbers to separate the products that are part of it.

Volatile coking products (direct coke gas) from furnace 1 enter through risers into the gas collection pipeline 2. Primary cooling and condensation of gas occurs due to the evaporation of ammonia water, which is pumped into the pipeline through special sprinklers. The coking products are cooled to 85-90 ° C, a part is condensed. From the gas collection pipeline, the coke gas enters the refrigerator 3, which is cooled to 30-35 ° C, while an additional amount of resin is condensed. The gas coming out of the refrigerator contains tar mist and passes through an

electric filter 4 to separate it, after which it is sent to the unit 7 by a gas blower 5 to capture ammonia and pyridine bases.

Condensate from the gas pipeline 2 of the refrigerator 3 and the electrofilter 4 is separated in the separator 6 into organic and aqueous layers. The organic layer is coal tar containing high-boiling organic substances; is sent to the "tar" shop for processing. The aqueous layer (ammonia water) is partly returned to the collecting pipe 2 for primary cooling of the coking products, and partly directed to the same place where the coke gas goes after the electrostatic precipitator: to unit 7. This unit has an ammonia evaporator from ammonia. of water, a saturator for absorbing bases with sulfuric acid, an ammonium sulfate crystallizer, an apparatus for displacing pyridine bases with ammonia from their sulfates.

The gas after installation 7 contains vapors of volatile organic compounds (benzene, toluene). To catch them, the gas is cooled with water in the refrigerator directly 8 mixing and sent to the absorber 9, irrigated with absorbent. The so-called return coke gas coming from the absorber is used to heat the coke ovens. A significant part of the gas goes to chemical processing. The saturated absorbent oil coming from the lower part of the absorber passes through the heat exchanger 10, which is heated by the regenerated return oil and enters the desorber 11. There is a distillation in which a mixture of light aromatic compounds (crude benzene) is distilled. The crude oil released from the crude benzene gives heat to the saturated oil of the heat exchanger 10, is further cooled in the refrigerator 12 and is again used to absorb benzene hydrocarbons from the coke gas.

The aim of the diploma project is to modernize the rectification column.
Advantages:

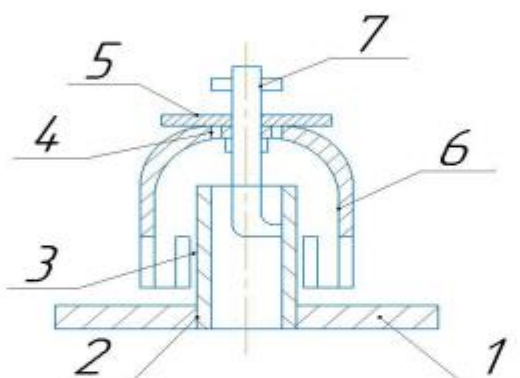
- High productivity
- Simplicity of design

Disadvantages:

In the event of an emergency increase in steam consumption, the column stops working efficiently

This disadvantage of the column is proposed to be eliminated thanks to the installation of a cover on the cap, which, in case of an emergency increase in steam, rises and the excess steam escapes.

The figure 2 shows us the scheme of the modernized cap of the rectification column.



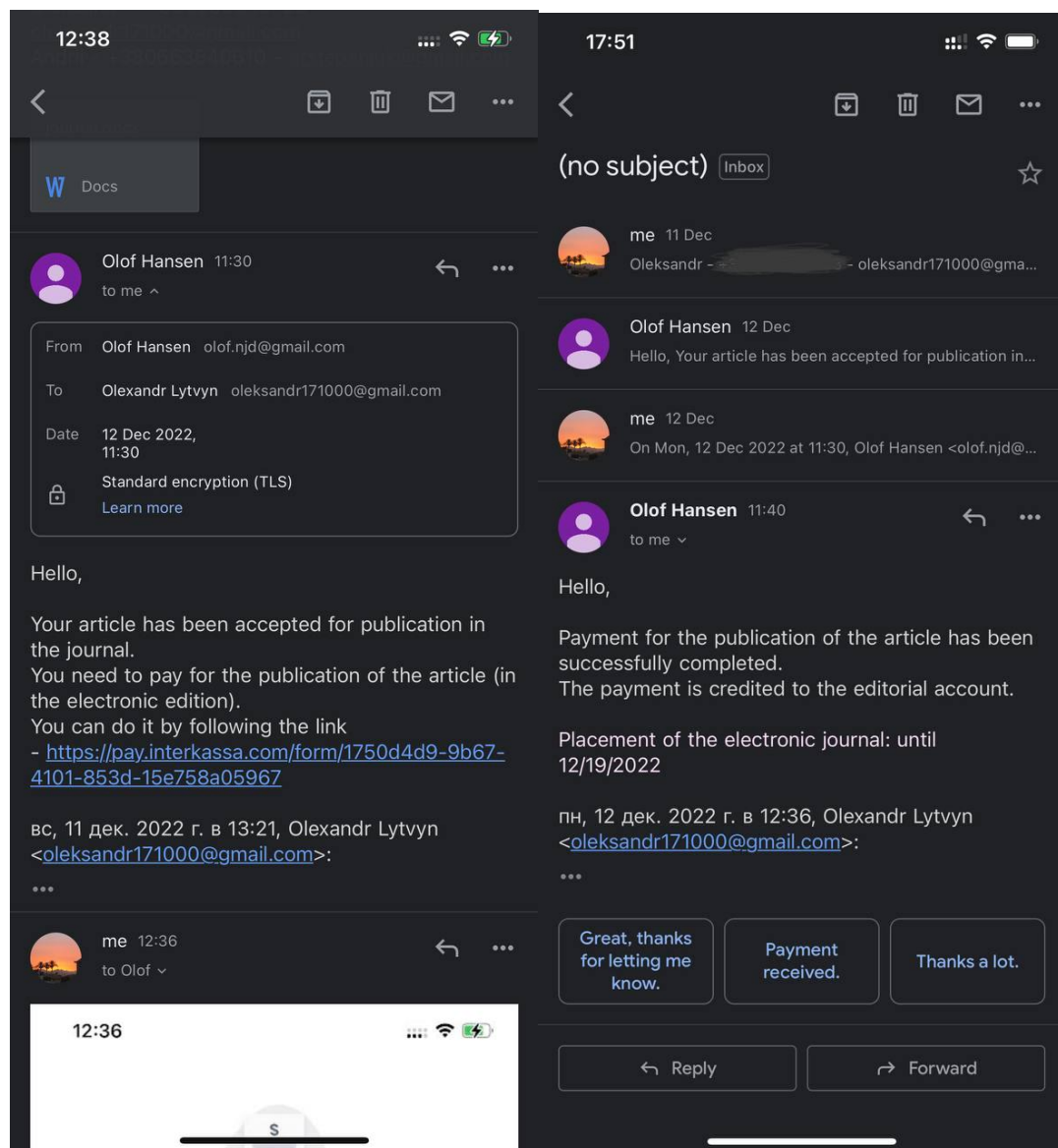
1 – body of the plate, 2 – tube, 3 – slits, 4 – canal, 5 – plate (modernization),
6 – cap, 7 – nut

Figure 2 – the scheme of the column cap modernization.

In this way, the disadvantage of the rectification column was eliminated and the reliability of the design and the safety of the benzene purification process were ensured.

References:

1. <https://en.wikipedia.org/wiki/Benzene>
2. <https://bts.net.ua/eng/column/column2/>
3. Rusyanova N.D. Carbon chemistry. - M.: Nauka, 2000. - 289 p.



					ЛН311МП.06634.1.001 ПЗ	Арк.
						173
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		