

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

**Факультет автоматизації, промислової інженерії та екології
Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО
Завідувач кафедри МАХНВ
_____ Андрій СТЕПАНІЮК
“ _____ ” _____ 2026 р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Комп’ютерно-інтегровані
технології проектування обладнання хімічної інженерії»
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
на тему: «Модернізація ректифікаційної колони установки виробництва
харчового спирту»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ЛБ-21
Величко Тимофій Дмитрович _____

Керівник:

Асистент кафедри МАХНВ
Косенко Володимир Владиславович _____

Консультант з охорони праці:

Старший викладач кафедри ОПЦБ, канд. техн. наук
Ковтун Андрій Іванович _____

Консультант з економіки:

Старша викладачка кафедри МАХНВ, канд. техн. наук
Гусарова Олена Віталіївна _____

Рецензент:

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(прізвище, ім’я, по батькові)

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

Студент _____

Київ – 2026

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

**Факультет автоматизації, промислової інженерії та екології
Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність: 133 Галузеве машинобудування

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАХНВ

_____ Андрій СТЕПАНЮК

“ ____ ” _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Величку Тимофію Дмитровичу

1. Тема проєкту: Модернізація ректифікаційної колони установки виробництва харчового спирту.

Керівник проєкту: асистент кафедри МАХНВ

Косенко Володимир Владиславович.

Затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 2026 р. № _____

2. Термін подання студентом проєкту: 08 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту: Продуктивність по сировині $G = 10$ кг/с; масова частка етанолу у початковій суміші (бражка) – 0,4; дистиляті – 0,9 ; у кубовому залишку – 0,05; температура живлення – 80 °С; робочий тиск у колоні – 0,1 МПа; тип колони – ковпачкова.

4. Зміст пояснювальної записки: а) основна частина: обґрунтувати вибір конструкцій ректифікаційної колони; виконати розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій, а саме: параметричний розрахунок, розрахунки на міцність і надійність елементів ректифікаційної колони;
б) охорона праці: провести аналіз відповідності апарата до вимог охорони праці, викласти основні вимоги безпечної експлуатації апарата;

в) економічна частина: обґрунтувати модернізацію установки та оцінити її ефективність;

г) навести рекомендації щодо монтажу та експлуатації ректифікаційної колони;

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо): технологічна схема – А1, кресленик складальний: ректифікаційна колона – А1, кришка – А1, обичайка – А1, технічна ідея модернізації (плакат) – А3.

6. Консультанти розділів проекту:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Андрій КОВТУН старший викладач, к.т.н.		
Техніко-економічне обґрунтування доцільності вдосконалення	Олена ГУСАРОВА старша викладачка, к.т.н.		

7. Дата видачі завдання: 20 квітня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	2	3	4
1	Узгодження теми, вихідних даних, визначення джерел інформації. Обґрунтування актуальності проекту.	20.04.26	
2	Патентне дослідження. Формування змісту модернізації (на основі зміни технологічної схеми, конструкції апарату, його елементів, речовин).	23.04.26	

1	2	3	4
3	Опис установки. Схема установки. Вибір і опис конструкції центрифуги. Технічна характеристика установки, апарату. Вибір матеріалів.	27.04.26	
4	Параметричний розрахунок: визначення основних розмірів апарату. Розрахунок гідравлічного опору апарату.	01.05.26	
5	Розробка складальних креслеників апарату і його складальних одиниць.	10.05.26	
6	Розрахунки на міцність. Розробка алгоритмів та програм розрахунку.	17.05.26	
7	Уточнення графічної частини проєкту та специфікацій.	22.05.26	
8	Обґрунтування економічної доцільності модернізації.	25.05.26	
9	Розробка вимог до апарату з питань охорони праці.	27.05.26	
10	Оформлення пояснювальної записки. Перевірка відповідності проєкту діючим нормам за змістом і оформленням. Підготовка до захисту. Складення плану викладення доповіді, окремих питань.	29.05.26	
11	Попередній захист проєкту.	08.06.26	
12	Корегування проєкту за результатами попереднього захисту. Отримання рецензії, відзиву. Підготовка до захисту.	09.06.26	

Студент

Керівник проєкту

_____ Тимофій ВЕЛИЧКО
(підпис)

_____ Володимир КОСЕНКО
(підпис)

РЕФЕРАТ

УДК 663.5

Модернізація ректифікаційної колони установки виробництва харчового спирту: Дипломний проєкт освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр»/ КПІ ім. Ігоря Сікорського; Керівник В. В. Косенко. – Київ, 2026. – 107 с.: іл. Викон. – Т. Д. Величко – Бібліогр.: 85 с.

Пояснювальна записка складається із вступу, 8 розділів, висновків, переліку посилань із 15 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 86 сторінок основного тексту, 21 рисуноків, 12 таблиць і 4 додатків.

Метою проєкту є модернізація ректифікаційної колони установки виробництва харчового спирту, що дозволяє підвищити ефективність роботи ректифікаційної колони за допомогою удосконалення конструкції копачків шляхом відгинання кромки.

З метою вирішення поставленої задачі було проведено комплексний аналіз, що включав аналітичне визначення ключових габаритів апарату, виконання розрахунків: параметричного, розрахунків на міцність та жорсткість для основних елементів конструкції. Розроблено практичні рекомендації щодо монтажу та подальшої експлуатації апарата. Крім того, було здійснено оцінку ступеня стандартизації та уніфікації запропонованих технічних рішень, представлено техніко-економічне обґрунтування доцільності модернізації апарата, а також проведено аналіз відповідності розробки чинним нормам та вимогам з охорони праці. За результатами проведеної роботи здійснено детальний аналіз отриманих даних, сформульовано відповідні висновки та наведено перелік джерел, що були використані в процесі дипломного проєктування.

Графічна частина дипломного проєкту включає чотири кресленики форматом А4, що містять: технологічну схему установки виробництва харчового спирту, складальний кресленик ректифікаційної колони, кресленик кришки та кресленик деталі – обичайки. Також є плакат схеми модернізації та тривимірні зображення апарату.

ЕТАНОЛ, РЕКТИФІКАЦІЙНА КОЛОНА, КОВПАЧОК, КРИВА РІВНОВАГИ, ЧИСЛО ТАРІЛОК.

ABSTRACT

UDC 663.5

Modernization of the Distillation Column of the Food Alcohol Production Plant: Bachelor's diploma project / Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute; Supervisor V. V. Kosenko. – Kyiv, 2026. – 107 p.: ill. Performed by T. D. Velychko – Bibliography: 85 p.

The explanatory note consists of an introduction, 8 chapters, conclusions, and a list of references containing 15 sources. The total volume of the work is 86 pages of main text, 21 figures, 12 tables, and 4 appendices.

The aim of the project is to modernize the rectification column of a food-grade alcohol production unit, which makes it possible to increase the efficiency of the rectification column by improving the design of the caps through bending of the edge.

In order to solve the assigned task, a comprehensive analysis was carried out, including the analytical determination of the main overall dimensions of the apparatus, as well as the performance of calculations: parametric calculations, strength calculations, and rigidity calculations for the main structural elements. Practical recommendations for installation and further operation of the apparatus were developed. In addition, an assessment of the degree of standardization and unification of the proposed technical solutions was carried out, a feasibility study of the modernization of the apparatus was presented, and an analysis of the compliance of the development with current occupational safety standards and requirements was performed. Based on the results of the work, a detailed analysis of the obtained data was carried out, relevant conclusions were formulated, and a list of sources used during the diploma design process was provided.

The graphic part of the diploma project includes four A4-format drawings containing: the technological scheme of the food-grade alcohol production unit, an assembly drawing of the rectification column, a drawing of the cover, and a detail drawing of the shell. There is also a modernization scheme poster and three-dimensional images of the apparatus.

ETHANOL, RECTIFICATION COLUMN, EQUILIBRIUM CURVE, NUMBER OF TRAYS.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

Факультет автоматизації, промислової інженерії та екології

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту

на здобуття ступеня бакалавра

Спеціальність: 133 – Галузеве машинобудування

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

На тему: Модернізація ректифікаційної колони установки виробництва харчового спирту

Зміст

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів.....	10
Вступ.....	11
1. Призначення та область використання апарата.....	12
1.1 Опис технологічного процесу.....	12
1.2 Вибір типу апарата та його місце в технологічній схемі	13
2 Технічна характеристика ректифікаційної колони.....	16
3 Опис та обґрунтування обраної конструкції апарата.....	17
3.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей.....	17
3.2 Опис модернізації апарата.....	18
3.3 Вибір матеріалів.....	20
3.4 Порівняння основних показників розробленої конструкції апарата з аналогами.....	21
3.5 Патентне дослідження.....	23
4. Охорона праці.....	32
4.1 Повітря робочої зони.....	33
4.2 Виробничий шум.....	34
4.3 Освітлення.....	34
4.4 Пожежна безпека.....	36
5 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції Апарата.....	38
5.1 Параметричний розрахунок.....	38
5.2 Визначення числа тарілок.....	47
5.3 Конструктивний розрахунок тарілки.....	49
5.4 Розрахунок товщини стінки обичайки корпусу апарата.....	51
5.5 Розрахунок на міцність еліптичного днища.....	54
5.6 Розрахунок вітрового навантаження.....	57

Відповідальна організація МАХНВ	Технічне узгодження Володимир КОСЕНКО	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа Опублікований
Власник документа КПІ ім. Ігоря Сікорського	Розробник документа: Тимофій ВЕЛИЧКО	Назва, додаткова назва Модернізація ректифікаційної колони установки виробництва харчового спирту	ЛБ21.02.103.001 ПЗ
	Документ затверджено: Володимир КОСЕНКО		Інд. змін. Дата видання: Мова: UA Аркуш 8/107

5.7 Розрахунок колонного апарата на міцність.....	62
5.8 Розрахунок колонного апарата на стійкість.....	65
5.9 Розрахунок опорної обичайки на міцність.....	68
5.10 Розрахунок штуцерів.....	71
6 Рекомендації з монтажу і експлуатації.....	74
7 Рівень стандартизації та уніфікації.....	77
8 Техніко-економічне обґрунтування модернізації.....	78
8.1 Техніко-економічне обґрунтування доцільності вдосконалення.....	78
8.2 Розрахунки витрат на проведення проектно-конструкторських робіт по вдосконаленню ректифікаційної колони.....	79
Висновки.....	83
Conclusion.....	84
Перелік посилань.....	85
Додаток А Документація до патентного дослідження.....	87
Додаток Б Програмний розрахунок товщини стінки обичайки колони.....	92
Додаток В Публікації автора.....	97
Додаток Г Патенти, які використовувались в патентному дослідженні.....	104

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів

ВК – висококиплячий компонент

НК – низькокиплячий компонент

b – ширина, м;

C – додаток до розрахункової товщини, м;

D, d – діаметри, м;

E – модуль пружності, Н;

F – поверхня масообміну, м^2 ;

G – продуктивність по газовій фазі, кг/с ;

L – продуктивність по рідкій фазі, кг/с ;

H, h – висота, м;

M – молярна маса, кг/моль ;

M – вигинаючий момент, МН/м ;

m – маса, кг ;

P – тиск, МПа ;

R – флегмове число;

S – товщина, м;

T – температура, К ;

t – температура, $^{\circ}\text{C}$;

V – об'єм, м^3 ;

ρ – густина, кг/м^3 ;

W – швидкість, м/с .

x – концентрація.

Вступ

Етанол широко застосовується в промисловості, медицині та побуті. Його використовують як паливо (біоетанол), розчинник, антисептик і сировину для виробництва хімічних речовин. Також етанол має велике значення у фармакологічній та харчовій промисловості, зокрема при виготовленні лікарських засобів і алкогольних напоїв.

Існує два способи отримання етилового спирту: мікробіологічний за рахунок процесу бродіння та синтетичний за рахунок гідратації етилена.

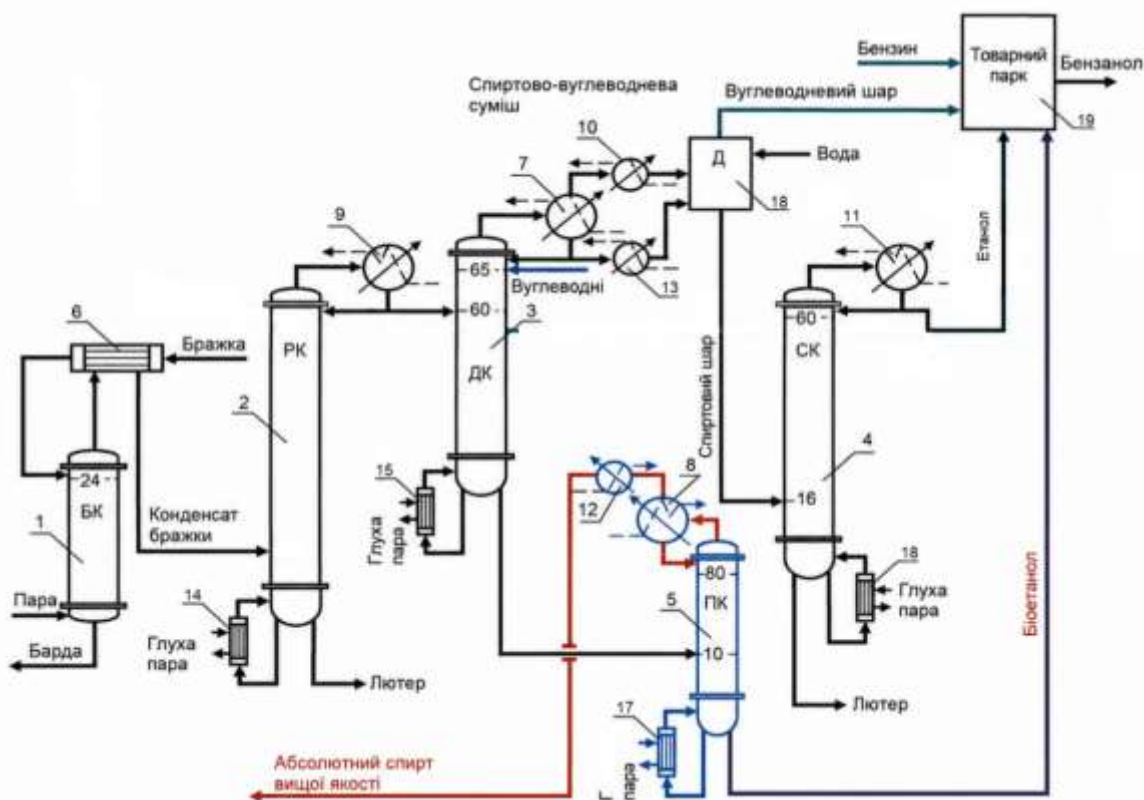
Для виробництва харчового спирту використовується ферментація – біохімічна переробка органічних речовин за допомогою ферментів або мікроорганізмів. У спиртовому бродінні такими мікроорганізмами виступають дріжджі. Вони розкладають цукри, такі як глюкоза і фруктоза з утворенням етилового спирту та вуглекислого газу. У разі використання методу гідратації етилену виділяються домішки, що роблять непридатним спирт для вживання.

Для очищення спирту від води та інших домішок у бражці використовують ректифікацію – процес багаторазового випаровування суміші з масо- і теплообміном. Процес відбувається на контактних пристроях – тарілках або насадках, які виступають ключовими у процесі ректифікації. Тому є доцільно дослідити і модифікувати саме цей ключовий компонент, Покращення якого збільшить загальну ефективність апарату.

1 Призначення та область використання апарата

1.1 Опис технологічного процесу

Технологічний процес виробництва абсолютного етилового спирту та біоетанолу здійснюється за допомогою комплексу ректифікаційного та допоміжного обладнання. До складу установки входять бражна колона 1, ректифікаційна колона 2, дегідратаційна колона 3, спиртова колона 4, пропанольна колона 5, а також теплообмінне обладнання, дефлегматори, конденсатори, холодильники та допоміжні апарати. (Рисунок 1.1).



1 – бражна колона; 2 – ректифікаційна колона; 3 – дегідратаційна колона; 4 – спиртова колона; 5 - пропанольна колона; 6 - підігрівач бражки; 7, 8 - дефлегматори; 9-12 – конденсатори; 13 – холодильник; 14-17 – виносні кип'ятильники; 18 – декантатор; 19 - товарний парк

Рисунок 1.1 – Технологічна схема виготовлення абсолютного спирту та біоетанолу

Бражка після підігріву у підігрівачі бражки 6 подається до бражної колони 1. У бражній колоні відбувається процес виділення спиртових парів із бражки шляхом тепломасообміну між рідкою та паровою фазами. З нижньої частини колони відводиться післяспиртова барда, а спиртові пари направляються на подальшу переробку.

Бражний дистилят із верхньої частини бражної колони 1 надходить до ректифікаційної колони 2, де здійснюється очищення та концентрування етилового спирту. Дистилят із ректифікаційної колони 2 надходить до дегідратаційної колони 3, у верхню частину якої подається вуглеводнева фракція. У дегідратаційній колоні відбувається процес видалення залишкової води зі спирту з утворенням потрійної точки азеотропу. Пари з верхньої частини колони після конденсації надходять до декантатора 18, де відбувається розділення суміші на вуглеводневий та спиртоводний шари.

З нижньої частини дегідратаційної колони 3 відводиться абсолютований етиловий спирт із високою концентрацією етанолу. Отриманий продукт може використовуватись як компонент біопалива або як готовий харчовий спирт.

Спирто-водний шар після декантатора 18 подається до спиртової колони 4. У спиртовій колоні проводиться додаткове виділення етилового спирту із суміші. Дистилят спиртової колони направляються до товарного парку 19.

У пропанольній колоні 5 здійснюється остаточне очищення продукту та отримання абсолютованого спирту високої якості і біоетанолу. Готові продукти, а саме абсолютований спирт, біоетанол, етанол, спирто-бензинова суміш, направляються до товарного парку 19 для зберігання та подальшого використання [1].

1.2 Вибір типу апарата та його місце в технологічній схемі

Одним із основних апаратів установки виробництва етилового спирту є ректифікаційна колона, у якій здійснюється процес розділення

багатокомпонентної рідинної суміші за рахунок багаторазового контакту парової та рідкої фаз. У даному проєкті ректифікаційна колона використовується для очищення та концентрування етилового спирту, а також для видалення супутніх домішок, таких як альдегіди, ефіри та сивушні масла.

Ректифікаційна колона займає центральне місце у технологічній схемі виробництва харчового спирту. Від ефективності її роботи залежать ступінь очищення спирту, енергетичні витрати процесу, продуктивність установки та стабільність усього виробництва.

До основних технічних вимог, що ставляться до ректифікаційної колони, належать забезпечення високої ефективності масообміну між паровою та рідкою фазами, отримання спирту заданої концентрації та чистоти, стабільна робота в безперервному режимі, мінімальні втрати етилового спирту з відходящими потоками, а також надійність, безпечність експлуатації та можливість технічного обслуговування без тривалих простоїв.

Для реалізації процесу ректифікації застосовуються насадкові або тарілчасті ректифікаційні колони. Кожен із цих типів має свої конструктивні та технологічні особливості, що визначають область їх раціонального використання.

Насадкові ректифікаційні колони характеризуються відносно простою конструкцією та низьким гідравлічним опором, що є їх суттєвою перевагою. Масообмін у таких апаратах відбувається на розвиненій поверхні насадки, по якій стікає рідина назустріч потоку пари. Однак у процесах спиртового виробництва насадкові колони мають ряд обмежень. Вони є чутливими до нерівномірного розподілу рідини по перерізу апарата, схильні до засмічення при наявності домішок, а також гірше працюють при коливаннях навантаження, що характерно для промислових умов спиртового виробництва. Це знижує стабільність процесу та ускладнює забезпечення стабільної якості кінцевого продукту.

Найбільш ефективними для даного процесу є тарілчасті ректифікаційні колони, у яких контакт між паровою та рідкою фазами здійснюється ступінчасто на тарілках. Такі апарати забезпечують високу ефективність масообміну, стійку роботу в широкому діапазоні навантажень та достатньо високу гнучкість у регулюванні технологічного режиму. Крім того, тарілчасті колони добре зарекомендували себе у спиртовій промисловості завдяки здатності ефективно розділяти багатокomпонентні суміші та забезпечувати стабільну якість продукту навіть при змінних умовах роботи.

Таким чином, аналіз конструктивних особливостей та експлуатаційних характеристик розглянутих типів апаратів показує, що найбільш доцільним для виробництва харчового етилового спирту є використання тарілчастої ректифікаційної колони. Саме цей тип апарата забезпечує необхідну ефективність процесу, стабільність роботи та відповідність вимогам до якості кінцевого продукту. У даному проєкті для модернізації прийнято тарілчасту ректифікаційну колону як базовий апарат технологічної схеми.

2. Технічна характеристика ректифікаційної колони

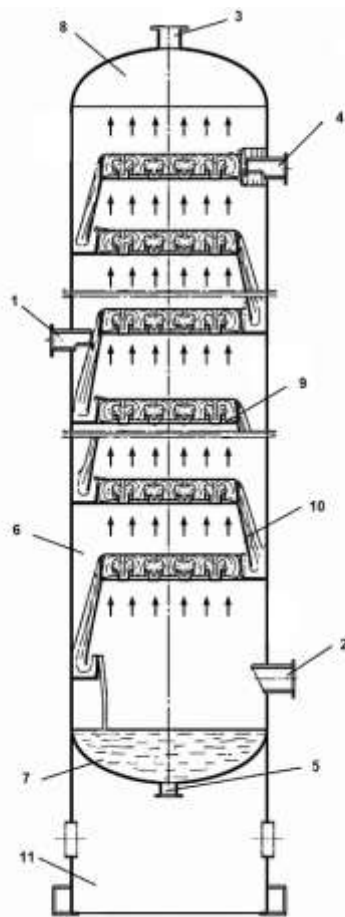
Технічна характеристика ректифікаційної колони:

Продуктивність по сировині G , кг/сек;	10;
Тиск в апараті, МПа	0,1;
Склад рідин по легколетючому компоненту, % масові:	
Вихідної суміші, x_F	0,4;
Дистиляту, x_D	0,9;
Кубового залишку, x_W	0,05;
Габаритні розміри:	
Висота тарілчастої частини, м	6,4;
Діаметр, м	2,8.

3 Опис та обґрунтування обраної конструкції апарата

3.1 Конструкція і принцип дії апарата, основних складальних одиниць та деталей

Ректифікаційна колона має циліндричний корпус, всередині якого встановлені контактні пристрої у вигляді тарілок. Знизу вгору по колоні рухаються пари, що надходять у нижню частину апарата з кип'ятильника, який розташований поза колоною. Приклад схеми ректифікаційної колони зображена на рисунку 3.1.



1 - штуцер входу вихідної речовини; 2 - штуцер входу пари; 3 – штуцер виходу пари; 4 – штуцер входу флегми; 5 – штуцер виходу рідини; 6 – корпус колоні; 7 – днище; 8 – кришка; 9 – тарілка; 10 – переливна перегородка; 11 – опорна обичайка

Рисунок 3.1 – Приклад схеми ректифікаційної колони

Пари проходять через шар рідини на нижній тарілці. Внаслідок взаємодії між рідиною та парою, що має вищу температуру, рідина частково випаровується, причому в пару переходить переважно низькокиплячий компонент (НК).

Випаровування рідини на тарілці відбувається за рахунок барботажу – проходження парою крізь рідину, внаслідок чого більш нагріта пара конденсується, а менш нагріта рідина випаровується. При цьому пари, що сконденсувались, переходять у рідину переважно у вигляді висококоплячого компонента (ВК). На другій тарілці рідина містить більше НК, ніж на першій. Стикаючись з нею, пара частково конденсується, збагачується НК і йде далі на вищерозташовану тарілку.

Таким чином, пара, що виходить з кип'ятильника під час руху вгору все більше збагачується низькокиплячим компонентом і покидає верхню тарілку колони у вигляді майже чистого НК, який практично повністю переходить у парову фазу на шляху пари від кип'ятильника до верху колони.

Пари конденсуються в дефлегматорі, охолоджуваному водою, а отримана рідина розділяється в роздільнику на дистилят і флегму, яка повертається у колону на верхню тарілку колони. Отже, за допомогою дефлегматора в колоні створюється низхідний потік рідини.

Рідина, що надходить на зрошення колони (флегма), є майже чистим НК. Однак, стікаючи по колоні та взаємодіючи з парою, рідина все більше збагачується ВК, що конденсується з пари. Коли рідина досягає нижньої тарілки, вона стає практично чистим ВК і надходить у кип'ятильник, що обігрівається парою або іншим теплоносієм.

3.2 Опис модернізації апарата

Барботування є ключовим у процесі ректифікації, адже від нього залежить ефективність та продуктивність усього апарату, тому рішення про

модернізацію форми ковпачка, що змінює кут виходу газу та безпосередньо впливає на процес ректифікації є доцільним.

Рішенням може стати конструкція ковпачка з відігнутою крайньою кромкою (рисунок 3.2)

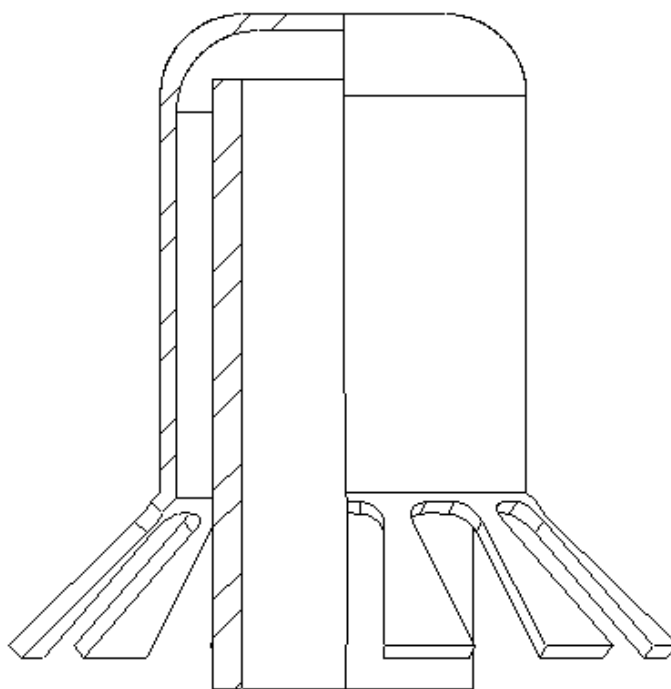


Рисунок 3.2 – Запропонований варіант модернізації ковпачка

При такому варіанті виконання ковпачка газова фаза проходить через прорізи, які розташовані під кутом до площини тарілки. Це означає що пара буде виходити вздовж цієї довжини, що не дозволить скупчуватися великій кількості газу в одному місці і тим самим збільшить площу масообміну, розподіливши газову фазу більш рівномірно по площі тарілки . Окрім цього підвищення ефективності досягається також за рахунок меншого контакту газу з площею ковпачка під час виходу газу і барботування, оскільки газова фаза виходить з ковпачка трохи далі, аніж при стандартному виконанні.

Переваги конструкції:

- 1) Підвищення ефективності масообміну.

Недоліки конструкції:

- 1) Складність виготовлення.
- 2) Підвищення вартості виробництва.

3.3 Вибір матеріалів

Для виготовлення ректифікаційної колони, призначеної для розділення водно-спиртових сумішей, обрано корозійностійку аустенітну нержавіючу сталь 08X18H10. Вибір даного матеріалу обумовлений умовами роботи апарата, фізико-хімічними властивостями робочого середовища, вимогами до надійності обладнання, а також технологічністю виготовлення конструкції.

У процесі ректифікації етилового спирту обладнання працює у контакті з водно-спиртовими сумішами при підвищених температурах та в умовах постійного впливу пари і конденсату. Такі умови вимагають використання матеріалу, який має високу корозійну стійкість та здатний тривалий час зберігати механічні властивості без руйнування і втрати працездатності. Сталь 08X18H10 характеризується високим вмістом хрому та нікелю, завдяки чому на її поверхні утворюється стійка пасивна плівка, що захищає метал від корозійного руйнування у слабоагресивних середовищах.

Дана марка сталі широко застосовується у харчовій, хімічній та фармацевтичній промисловості для виготовлення апаратів, трубопроводів, ємностей та теплообмінного обладнання. Її використання у виробництві етилового спирту є доцільним, оскільки водно-спиртове середовище не належить до сильноагресивних, а робочі температури процесу не перевищують допустимих значень для даного матеріалу. Сталь 08X18H10 забезпечує достатню стійкість до окиснення, дії вологи та пароповітряного середовища, що позитивно впливає на термін служби обладнання.

Матеріал добре піддається механічній обробці, штампуванню, вальцюванню та зварюванню, що має велике значення при виготовленні корпусу ректифікаційної колони, днищ, патрубків та внутрішніх контактних

пристроїв. Добра зварюваність сталі дозволяє отримувати міцні та герметичні зварні з'єднання без значного ризику утворення тріщин чи інших дефектів. Це спрощує процес виготовлення апарата та знижує трудомісткість виробництва.

Для елементів, що не контактують з корозійним середовищем етанол-вода – опорної обичайки, фундаментних болтів, а також болтів для фланцевих з'єднань доцільніше буде обрати більш доступну та дешевшу сталь 45. Вона є поширеним і доступним конструкційним матеріалом, що спрощує виготовлення, механічну обробку та ремонт елементів апарата. Застосування сталі 45 для болтових з'єднань є доцільним завдяки її достатній границі міцності а також можливості легкої заміни у разі потреби.

3.4 Порівняння розробленої конструкції з аналогами

У залежності від характеру поверхні контакту фаз, тарілчасті ректифікаційні колони можна поділити на:

Ковпачкові тарілки – пара піднімається крізь патрубки і виходить через прорізи ковпачків безпосередньо в шар рідини, розбиваючись на дрібні бульбашки. Вони забезпечують найстабільніший барботаж і не допускають «провалювання» рідини, проте мають складну конструкцію та значний гідравлічний опір.

Одноковпачкові конструкції оснащені єдиним масивним центральним вузлом, який забезпечує стабільний масообмін у колонах невеликого діаметру.

Клапанні тарілки – оснащені рухомими клапанами, які автоматично піднімаються або опускаються під тиском пари, змінюючи площу вільного перерізу. Це дозволяє тарілці саморегулюватися і підтримувати високу ефективність масообміну в дуже широкому діапазоні навантажень по тиску.

Сітчасті тарілки – пара проходить крізь велику кількість дрібних отворів у полотні, підтримуючи шар рідини своїм динамічним напором. Вони є

найдешевшими у виготовленні та мають мінімальний опір, але дуже чутливі до забруднень середовища та коливань швидкості пари.

Порівняння даних апаратів з модернізованою моделлю при однаковій продуктивності за вхідною рідиною, що дорівнює 10 кг/с, занесено до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняльні характеристики апаратів

Основні технологічні показники	Модернізований апарат	Багатоковпачкова	Клапанна	Сітчаста	Одноковпачкова
Діаметр апарата, м (1 – 5)	2,8 (3)	2,8 (3)	2,5 (4)	2,2 (5)	2,8 (3)
Маса апарата (металоемність), кг (1 – 5)	25 000 (3)	25 000 (3)	20 000 (3)	15 000 (5)	23 000 (3)
Гідравлічний опір, Па/тарілку (1 – 5)	550 (3)	500 (3)	350 (4)	200 (5)	550 (3)
Міжремонтний ресурс (до капітального ремонту), год (1 – 5)	30 000 (5)	30 000 (5)	20 000 (3)	12 000 (2)	25 000 (4)
Середній ККД тарілки, % (1 – 5)	75 (5)	70 (4)	60 (3)	50 (2)	50 (2)
Витрата пари, кг/с (1 – 5)	4,1 (4)	4,2 (4)	4,7 (3)	5,4 (1)	5,1 (2)
Сума балів	23	22	21	20	17

Висновок: Здійснене порівняння у таблиці 1 обраної тарілчастої ректифікаційної колони з аналогічними моделями показало, що вибрана

конструкція колони відповідає поставленим умовам і має вищу оцінку за характеристиками.

3.5 Патентний огляд

У патенті [2] запропоновано енергоефективний процес ректифікації з адаптивною подачею сировини у дві ректифікаційні колони. Основною особливістю винаходу є використання декількох точок введення живлення залежно від складу вихідної суміші, що дозволяє зменшити енергоспоживання та підвищити ефективність розділення компонентів (рисунок 3.3).

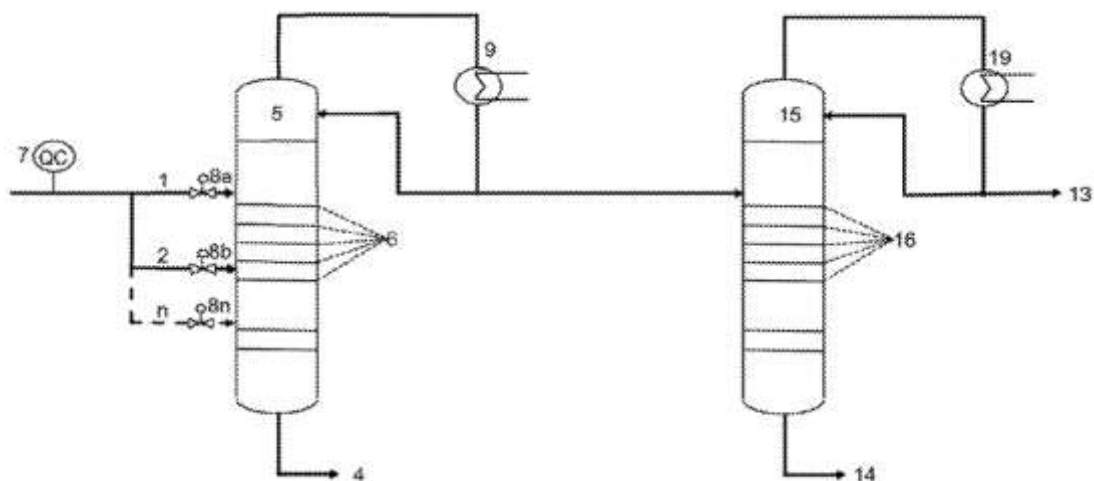


Рисунок 3.3 – Схема ректифікаційних колон з декількома точками входу речовини

Процес призначений переважно для розділення С4-вуглеводневих сумішей (бутени, бутани) та включає дві ректифікаційні колони, між якими організовано теплову інтеграцію. Склад потоку живлення аналізується перед подачею в систему, після чого автоматично вибирається оптимальна точка введення сировини у колону

Особливістю винаходу є можливість змінювати місце подачі живлення по висоті колони залежно від складу суміші. Це дозволяє підтримувати оптимальний масообмін та зменшити перевитрати теплової енергії.

Переваги:

- 1) Значне зниження енергоспоживання процесу ректифікації.
- 2) Повторне використання теплоти конденсації.
- 3) Зменшення викидів CO₂ завдяки меншому споживанню пари.
- 4) Адаптація режиму роботи до зміни складу сировини.
- 5) Підвищення ефективності розділення компонентів.

Недоліки:

- 1) Складна система автоматичного керування.
- 2) Необхідність постійного аналізу складу сировини.
- 3) Висока вартість теплових насосів та компресорного обладнання.
- 4) Ускладнення трубопровідної схеми установки.

У патенті [3] запропоновано модернізовану конструкцію барботажної тарілки для масообмінних колон, призначену для підвищення ефективності контакту між газовою та рідкою фазами. Розробка може застосовуватись у ректифікаційних та абсорбційних колонах хімічної, харчової й нафтопереробної промисловості.

Конструкція тарілки базується на використанні горизонтального полотна з отворами, у яких закріплені П-подібні трубки з перфорованими ділянками. Особливістю винаходу є встановлення на перфорованих частинах трубок спеціальних пружних накладок, що дозволяють змінювати напрямок виходу газового потоку та регулювати характер руху рідини по поверхні тарілки (рисунок 3.4).

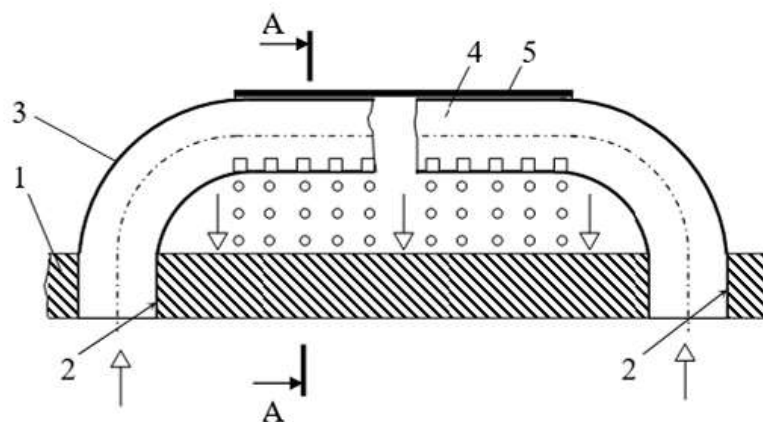


Рисунок 3.4 – Схема барботажної тарілки

Принцип роботи полягає в тому, що газова фаза проходить через П-подібні трубки та через перфорацію надходить у шар рідини у вигляді бульбашок. Завдяки повороту пружних накладок можна змінювати положення відкритих отворів, а отже – напрямок руху газового потоку. Це впливає на перемішування рідини, швидкість її руху по тарілці та тривалість контакту між фазами.

На відміну від класичних ковпачкових тарілок, дана конструкція є простішою та дає можливість більш гнучко регулювати процес масообміну без суттєвого ускладнення апарата. Крім того, пружні накладки легко встановлюються та знімаються без використання спеціального інструменту.

Переваги:

- 1) Можливість керування напрямком барботажу газової фази.
- 2) Підвищення інтенсивності масообміну.
- 3) Покращення перемішування рідини на тарілці.
- 4) Відносно проста конструкція контактного пристрою.
- 5) Зручність монтажу та обслуговування накладок.

Недоліки:

- 1) Додаткові елементи можуть ускладнювати очищення тарілки.
- 2) Пружні накладки піддаються механічному зносу.
- 3) Потрібне точне налаштування положення накладок для оптимальної роботи.

Авторами апарату [4] було запропоновано установку для ректифікації метанолу, у якій особливу увагу приділено підвищенню ефективності масообміну та зменшенню енергоспоживання процесу. Конструкція поєднує вдосконалені барботажні елементи, систему регулювання газорідинного контакту, вузол конденсації та систему попереднього підігріву сировини.

Основу апарата складає ректифікаційна колона з тарілками та ковпачковими барботажними елементами. Пари від ребойлера проходять через перфоровані ковпачки та рівномірно розподіляються у шарі рідини, що

покращує контакт між фазами та підвищує ефективність розділення метанольної суміші (рисунок 3.5).

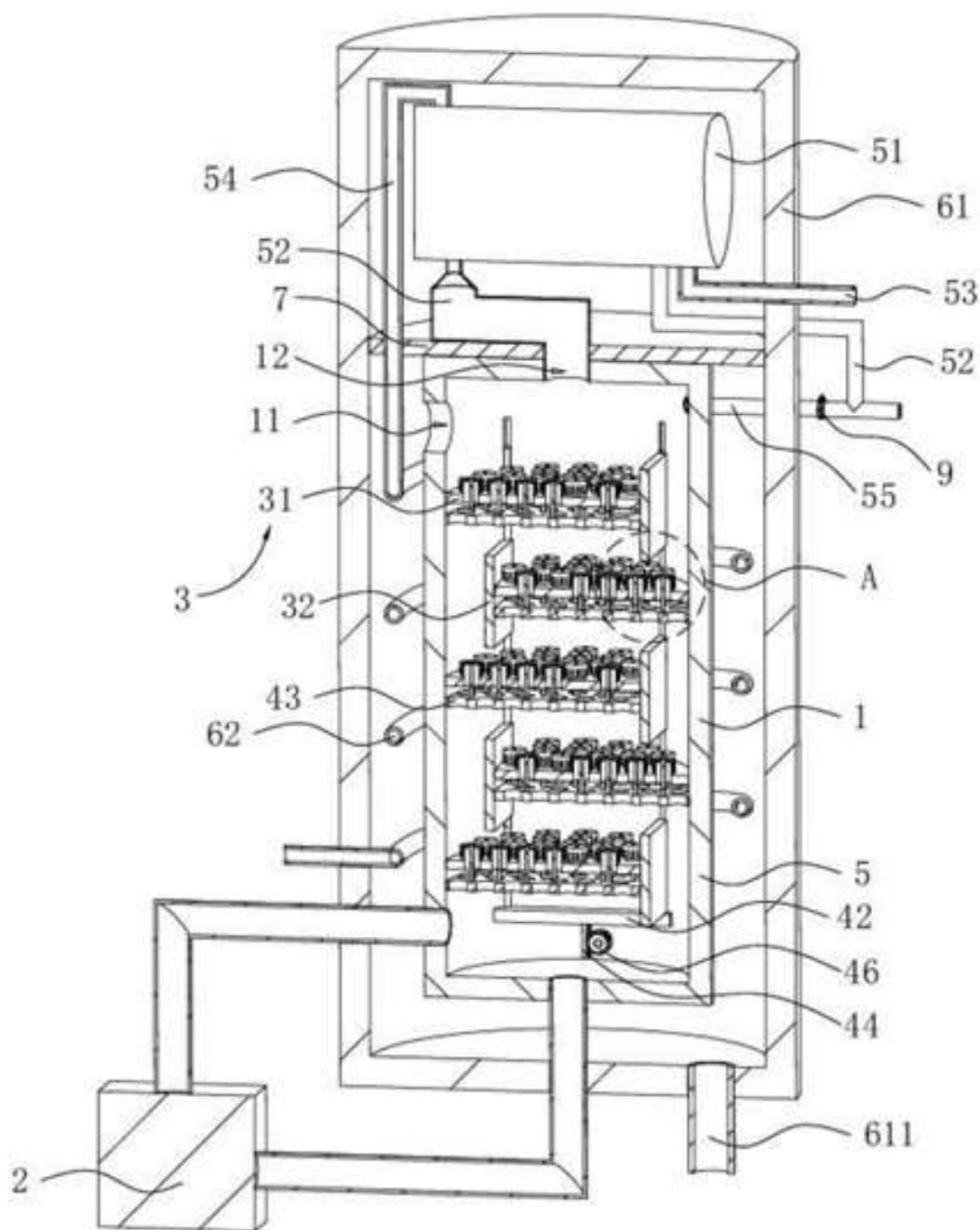


Рисунок 3.5 – Схема ректифікаційної колони з рухомими елементами

Особливістю конструкції є наявність механізму регулювання положення переливних перегородок і барботажних елементів. За допомогою зубчастої передачі та рухомих пластин оператор може змінювати рівень рідини на тарілках і положення ковпачків, оптимізуючи режим масообміну залежно від умов роботи колони.

У верхній частині установки розташовано конденсаційний вузол, де пари метанолу охолоджуються та частково повертаються у колону як флегма. Кількість поверненої рідини регулюється клапаном, що дозволяє підтримувати стабільний тепломасообмін усередині апарата.

Для зниження енерговитрат у патенті також передбачено систему попереднього нагріву сировини. Тепла вода після охолодження конденсатора використовується для підігріву вихідної суміші перед її подачею у колону. Таким чином реалізується часткова рекуперація теплоти та зменшується потреба у зовнішньому нагріванні.

Переваги:

- 1) Покращення контакту між газовою та рідкою фазами.
- 2) Можливість регулювання режиму роботи тарілок.
- 3) Зменшення енергоспоживання завдяки рекуперації теплоти.
- 4) Стабілізація процесу ректифікації метанолу.
- 5) Підвищення ефективності розділення компонентів.

Недоліки:

- 1) Більш складна конструкція механізму регулювання.
- 2) Збільшення кількості рухомих елементів у колоні.
- 3) Ускладнення технічного обслуговування та очищення.
- 4) Підвищені вимоги до герметичності та налаштування системи.

У корисній моделі [5] розглянуто спосіб укладання елементів насадки в масообмінному апараті, що належить до обладнання хімічних і споріднених виробництв та може застосовуватись у ректифікаційних, абсорбційних та інших колонних апаратах.

Елементи насадки виконані у вигляді прямих правильних чотирикутних призм і укладаються у вертикальному положенні горизонтальними шарами. Особливістю способу є формування кожного шару у вигляді рядів двох типів: у рядах першого типу елементи розташовуються з рівномірними проміжками між ними, тоді як у рядах другого типу елементи повертаються на кут 45° та

розміщуються таким чином, що їхні ребра знаходяться у проміжках між елементами сусіднього ряду (рисунк. 3.6).

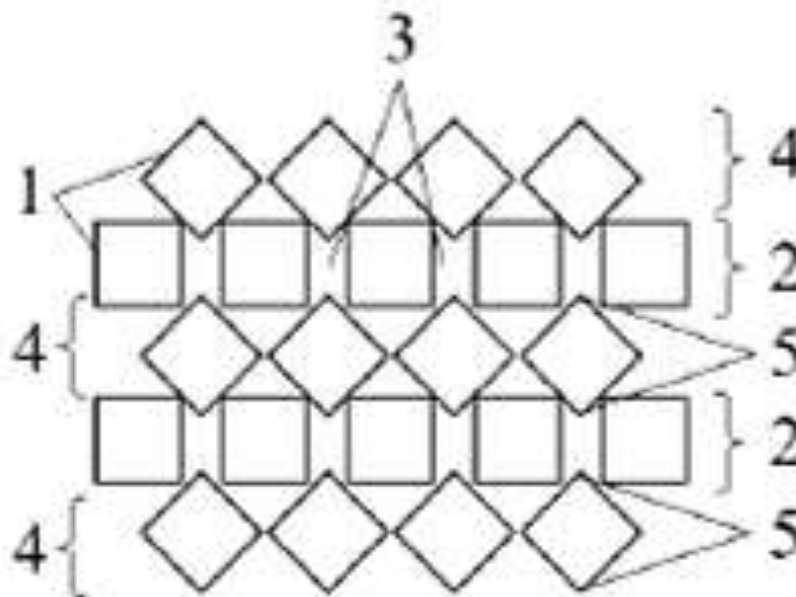


Рисунок 3.6 – Схема розташування насадок

Аналіз рівня техніки показує, що відомі способи укладання насадки, зокрема із використанням циліндричних кілець або шестикутних призм, характеризуються щільним контактом бічних поверхонь елементів. Це призводить до зменшення питомої поверхні масообміну, оскільки частина поверхні не бере участі у взаємодії фаз .

Запропонований спосіб відрізняється тим, що контакт між елементами відбувається переважно по лініях, а не по площинах, що дозволяє збільшити ефективну поверхню масообміну. Крім того, така структура шару забезпечує більш рівномірний розподіл потоків і покращення гідродинамічних умов у апараті.

Переваги:

- 1) Збільшення активної поверхні масообміну
- 2) Рівномірний розподіл потоків у шарі насадки
- 3) Покращення інтенсивності масообмінних процесів
- 4) Простота реалізації конструкції

Недоліки:

- 1) Необхідність точного дотримання геометрії укладання
- 2) Можливе ускладнення монтажу (чергування рядів)
- 3) Підвищені вимоги до виготовлення елементів

Авторами даного винаходу [6] реалізовано спрощений підхід до процесу ректифікації, який відрізняється від класичних колон насамперед конструктивним виконанням та способом організації масообміну.

На відміну від традиційних ректифікаційних колон, де розділення компонентів відбувається на тарілках або насадках, у даному випадку використано секційну будову корпусу. Кожна секція виконує роль окремого ступеня контакту пари і рідини. Такий підхід дозволяє відмовитися від складних внутрішніх елементів і спростити виготовлення апарата.

Особливістю конструкції є використання патрубків із різною орієнтацією. У нижніх секціях вони спрямовані донизу, що забезпечує повернення конденсованих важких фракцій у нижню частину апарата. У проміжній секції передбачено патрубок, спрямований вгору, що змінює характер руху парової фази та покращує відбір легколетких компонентів. Така організація потоків створює умови для багаторазового випаровування і конденсації без застосування класичних контактних пристроїв (рисунок 3.7).

Важливою конструктивною відмінністю є наявність водяного затвора у верхній проміжній секції. У промислових колонах аналогічні функції виконують дефлегматори та системи регулювання тиску. У цьому апараті водяний затвор забезпечує стабілізацію руху пари та запобігає її витоку назовні, що досягається значно простішими засобами.

Контроль процесу реалізовано через вимірювальний патрубок із термометром, розташований безпосередньо в одній із секцій. Це рішення є спрощеним порівняно з багатоточковим контролем температури у класичних колонах, однак дозволяє відслідковувати основні режими роботи під час перегонки.

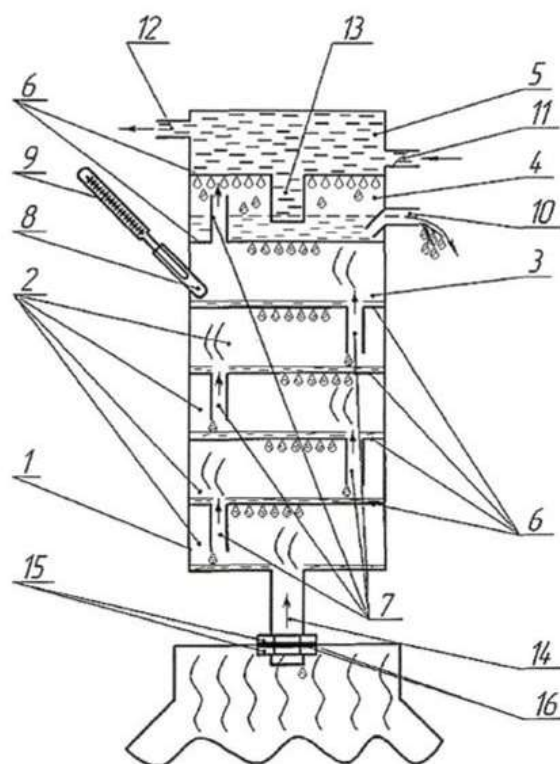


Рисунок 3.7 – Схема ректифікаційної колони

Конденсація парів відбувається у верхній секції, яка оснащена охолоджувальним циліндром із підведенням і відведенням води. Така конструкція є компактнішою, але має меншу інтенсивність теплообміну.

Переваги:

- 1) Проста та компактна конструкція апарата;
- 2) Можливість одночасного отримання спирту і дистильованої води;
- 3) Наявність термометра для контролю процесу перегонки;
- 4) Ефективне розділення фракцій за рахунок багатосекційної будови;
- 5) Підвищена герметичність системи;
- 6) Зручність у використанні та обслуговуванні.

Недоліки:

- 1) Необхідність постійного контролю температури при отриманні спирту;
- 2) Обмежена продуктивність через малогабаритність;

- 3) Можливість втрат тепла та енергії при багатоступеневому охолодженні;
- 4) Складність очищення внутрішніх секцій;
- 5) Залежність якості продукту від точності дотримання температурного режиму.

4 Охорона праці

Виконання розділу з охорони праці здійснюється з урахуванням рекомендацій, поданих у методичних вказівках [7].

Охорона праці передбачає комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на створення безпечних умов праці, попередження виробничого травматизму, зменшення ризику професійних захворювань, а також правильні дії персоналу в аварійних ситуаціях.

У проєкті розглядається тарілчаста ректифікаційна колона, призначена для розділення суміші етанол-вода. Апарат встановлено поза основним приміщенням цеху, а керування його роботою здійснює оператор з окремого операторського пункту, розташованого поблизу установки, площа якого становить 12 м².

Компонентами вихідної суміші є етиловий спирт і вода. Етанол належить до летких легкозаймистих рідин, його пари можуть утворювати з повітрям пожежонебезпечні суміші. Вода за нормальних умов експлуатації не створює токсичної або вибухової небезпеки, однак наявність гарячих потоків і пари потребує дотримання правил безпечної роботи з нагрітим обладнанням.

Під час експлуатації установки можливий вплив таких небезпечних і шкідливих виробничих чинників:

- параметри повітря робочої зони та можливе виділення парів етанолу;
- виробничий шум від обладнання;
- небезпека ураження електричним струмом;
- недостатнє або неправильно організоване освітлення;
- ризик виникнення пожежі або вибухонебезпечної ситуації.

4.1 Повітря робочої зони

Безпечна робота персоналу забезпечується організацією ефективного обміну повітря в зоні розміщення обладнання та застосуванням місцевої витяжної вентиляції у місцях можливого виділення парів. Операторська повинна бути відокремлена від виробничої зони та обладнана засобами контролю параметрів процесу. За характером роботи обслуговування установки можна віднести до робіт із підвищеним навантаженням через шум, тривалість зміни та необхідність постійного контролю технологічного процесу. Для короткочасного відпочинку персоналу передбачається окреме закрите приміщення.

Основні нормовані показники мікроклімату – температура, відносна вологість і швидкість руху повітря – наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Нормовані параметри мікроклімату залежно від сезону року

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

Параметри мікроклімату робочої зони приймаються відповідно до вимог ДСН 3.3.6.042-99. У холодний період року необхідні умови підтримуються системою водяного опалення з температурою теплоносія 70-90 °C, а в теплий період – роботою припливно-витяжної вентиляції. Для третьої категорії робіт витрати енергії становлять 291-349 Вт або 251-300 ккал/год.

Основною шкідливою речовиною для даного процесу є пари етилового спирту. Етанол характеризується значною леткістю і при накопиченні в повітрі може погіршувати умови праці та підвищувати пожежну небезпеку. Тому концентрацію парів спирту потрібно контролювати та не допускати її

перевищення відносно гранично допустимого значення - 1000 мг/м³. Для індивідуального захисту застосовуються респіратори такі як Клен ГП КД.

4.2 Виробничий шум

Основними джерелами шуму на установці є електродвигуни, насоси, допоміжне обладнання, рухомі елементи приводу та загальний шум виробничого виробництва.

$$L = 98 \text{ дБА}$$

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, а також загальний та еквівалентний рівні звуку на постійних робочих місцях повинні відповідати ДСН 3.3.6.037-99. Для робочої зони приймається допустимий рівень шуму 70 дБА.

На елементи що створюють підвищений рівень шуму передбачається встановлення захисних кожухів, екранів і, за потреби, віброізоляційних елементів для зменшення шумового навантаження.

Для зменшення шумового навантаження передбачається встановлення захисних кожухів, екранів і, за потреби, віброізоляційних елементів на обладнання, що створює підвищений рівень звуку.

Як індивідуальні засоби захисту органів слуху можуть використовуватися протишумові навушники 3M Peltor Optime II або беруші 3M Peltor Combat Arms 4.1. Їх застосування знижує вплив шуму на працівників і зменшує ризик погіршення слуху при тривалій роботі біля установки.

4.3 Освітлення

Освітленість робочої зони оператора приймається на рівні $E_{\text{нор}} = 150$ лк.

Раціонально організоване освітлення є важливою умовою безпечної та

продуктивної роботи. Воно впливає на зорове сприйняття, зменшує втому персоналу й допомагає своєчасно помічати відхилення в роботі обладнання.

У виробничих та операторських приміщеннях доцільно максимально використовувати природне освітлення, оскільки воно позитивно впливає на працездатність працівників і зменшує навантаження на органи зору.

У світлий час доби перевага надається природному освітленню, а в темний період або за недостатньої освітленості застосовується штучне освітлення.

Обслуговування установки належить до робіт із загального нагляду за технологічним процесом. Обладнання працює безперервно у три зміни, тому система освітлення має забезпечувати стабільні умови роботи протягом усієї доби.

Розрахунок освітлення операторського приміщення виконують для темного часу доби. Для цього можуть використовуватися лампи LED T8 VITO потужністю 24 Вт зі світловим потоком $F = 2100$ лм та освітленістю $E_f = 100$ лк.

Загальне рівномірне освітлення горизонтальної поверхні виробничого приміщення доцільно визначати методом коефіцієнта використання світлового потоку.

Прийнятий світловий потік лампи становить:

$$F = 8300 \text{ лм}$$

За вказаним світловим потоком обирається лампа ДРИ потужністю 125 Вт.

У результаті фактична освітленість становить $E_f = 200$ лк, що відповідає вимогам ДБН В.2.5-28:2018. Під час вибору світильників необхідно враховувати наявність рухомих і обертових елементів обладнання, оскільки неправильне освітлення може спричиняти стробоскопічний ефект.

4.4 Пожежна безпека

Згідно з ДБН В.1.1-7:2016 будівля відповідає II ступеню вогнестійкості. З урахуванням наявності етилового спирту, що належить до легкозаймистих рідин, приміщення та зона розміщення установки повинні розглядатися як пожежонебезпечні, а електрообладнання має відповідати вимогам ПУЕ для відповідної зони. А також згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 приміщення відноситься до приміщень категорії В за пожежною небезпекою, оскільки в ньому відсутні вибухонебезпечні газові та пароповітряні суміші, але наявні тверді горючі матеріали у вигляді меблів, ізоляції кабелів, паперової документації та елементів електрообладнання.

Найбільш імовірними причинами загоряння можуть бути несправності електрообладнання, короткі замикання, перевантаження кабельних ліній, пошкодження ізоляції, іскроутворення, порушення режиму експлуатації та необережне поводження з відкритим вогнем. Профілактика пожежі забезпечується дотриманням технологічного регламенту, справним станом вентиляції, контролем концентрації парів етанолу, заборонаю паління поза спеціально відведеними місцями, своєчасним інструктажем персоналу та підтриманням у справному стані засобів пожежогасіння.

Для ліквідації невеликих осередків пожежі після знеструмлення обладнання використовують вуглекисневі вогнегасники ОУ-5 у кількості 3 шт. згідно з ДСТУ 4817:2007. Для гасіння електроустановок, які перебувають під напругою, передбачаються порошкові вогнегасники ОП-10 у кількості 3 шт. згідно з ДСТУ EN 1866-1:2014.

У приміщенні або на майданчику розміщення установки пожежні гідранти з рукавами довжиною до 10 м встановлюють на відстані не більше 30 м один від одного. Відстань до евакуаційного виходу не повинна перевищувати 40 м, кількість виходів має бути не меншою двох, ширина

дверного прорізу евакуаційного виходу – не менше 2 м, а двері повинні відкриватися назовні.

Охорона навколишнього середовища забезпечується герметичністю технологічного обладнання, справною роботою витяжної вентиляції та контролем можливих викидів парів етанолу. Сировина й продукти процесу повинні надходити на підприємство та зберігатися у герметичних ємностях або контейнерах.

5 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції

5.1 Параметричний розрахунок ректифікаційної колони

Метою розрахунку є визначення основних геометричних розмірів ректифікаційної колони.

Розрахункова схема ректифікаційної колони зображена на рисунку 5.1.

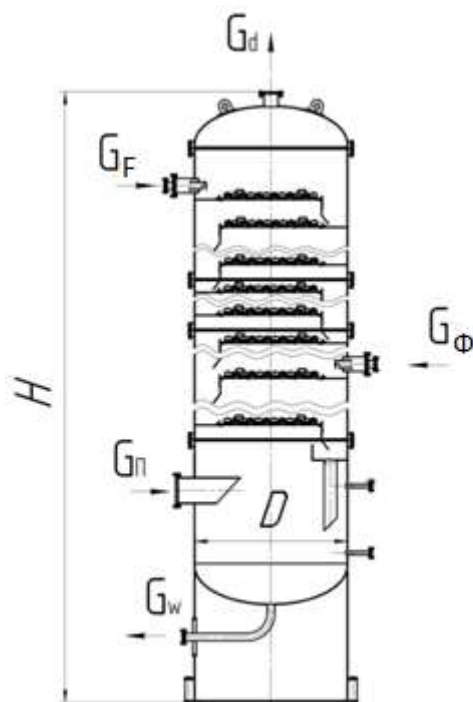


Рисунок 5.1 – Розрахункова схема ректифікаційної колони

Вихідні дані до розрахунку:

витрата початкової суміші, кг/с, L_F	10;
склад рідин по низькокиплячому компоненту, % масові	
вихідної суміші, x_F	40;
дистилляту, x_D	90;
кубового залишку, x_W	0.05.

Розрахунок ведемо по методиці викладеній у [8]

Зробимо наступні припущення, що майже не впливають на фактичні умови протікання процесу, але значно зпростують розрахунок:

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

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

Матеріальний баланс ректифікаційної колони:

$$L_F = L_D + L_W, \quad (5.1)$$

$$L_F x_F = L_D x_D + L_W x_W, \quad (5.2)$$

де L_F, L_D, L_W – масові витрати живлення, дистилята та кубового залишку;
 x_F, x_D, x_W – вміст легколетючого компонента в живленні, дистиляті та кубовому залишку відповідно.

Вирішення рівнянь дозволяє визначити масові витрати кубового залишку та дистиляту, кг/с:

$$L_W = L_F \cdot \frac{x_D - x_F}{x_D - x_W} = 10 \cdot \frac{0,9 - 0,4}{0,9 - 0,05} = 5,882$$

$$L_D = L_F - L_W = 10 - 5,882 = 4,118$$

Для подальших розрахунків необхідно виразити масові долі у мольних частках:

Вихідної суміші:

$$x_F = \frac{\frac{x_F}{M_A}}{\frac{x_F}{M_A} + \frac{1 - x_F}{M_B}} = \frac{\frac{0,4}{46}}{\frac{0,4}{46} + \frac{1 - 0,4}{18}} = 0,2069$$

Дистиляту:

$$x_D = \frac{\frac{x_D}{M_A}}{\frac{x_D}{M_A} + \frac{1 - x_D}{M_B}} = \frac{\frac{0,9}{46}}{\frac{0,9}{46} + \frac{1 - 0,9}{18}} = 0,7788$$

Кубового залишку:

$$x_W = \frac{\frac{x_W}{M_A}}{\frac{x_W}{M_A} + \frac{1 - x_W}{M_B}} = \frac{\frac{0,05}{46}}{\frac{0,05}{46} + \frac{1 - 0,05}{18}} = 0,0202$$

Де $M_A = 46$ – мольна маса етанолу, $M_B = 18$ – мольна маса води,
кг/моль

Запишемо матеріальний баланс у мольних частках:

Молекулярна маса вихідної суміші, кг/кмоль:

$$M_F = x_F M_A + (1 - x_F) M_B = 0,2069 \cdot 46 + (1 - 0,2069) \cdot 18 = 23,79$$

Молекулярна маса дистиляту, кг/кмоль:

$$M_D = x_D M_A + (1 - x_D) M_B = 0,7788 \cdot 46 + (1 - 0,7788) \cdot 18 = 39,81$$

Молекулярна маса кубового залишку, кг/кмоль:

$$M_W = x_W M_A + (1 - x_W) M_B = 0,0202 \cdot 46 + (1 - 0,0202) \cdot 18 = 18,57$$

За довідковими даними [8] наведеними у таблиці 5.1 будуємо ізобари температур кипіння і конденсації бінарної суміші етанол-вода (рисунок 5.2).

Таблиця 5.1 – Температури кипіння і конденсації суміші етанол-вода

T (°C)	x	y
95.5	0.0190	0.1700
89.0	0.0721	0.3891
86.7	0.0966	0.4375
85.3	0.1238	0.4704
84.1	0.1661	0.5089
82.7	0.2337	0.5445
82.3	0.2608	0.5580
81.5	0.3273	0.5826
80.7	0.3965	0.6122
79.8	0.5079	0.6564
79.7	0.5198	0.6599
79.3	0.5732	0.6841
78.74	0.6763	0.7385
78.41	0.7472	0.7815
78.15	0.8943	0.8943

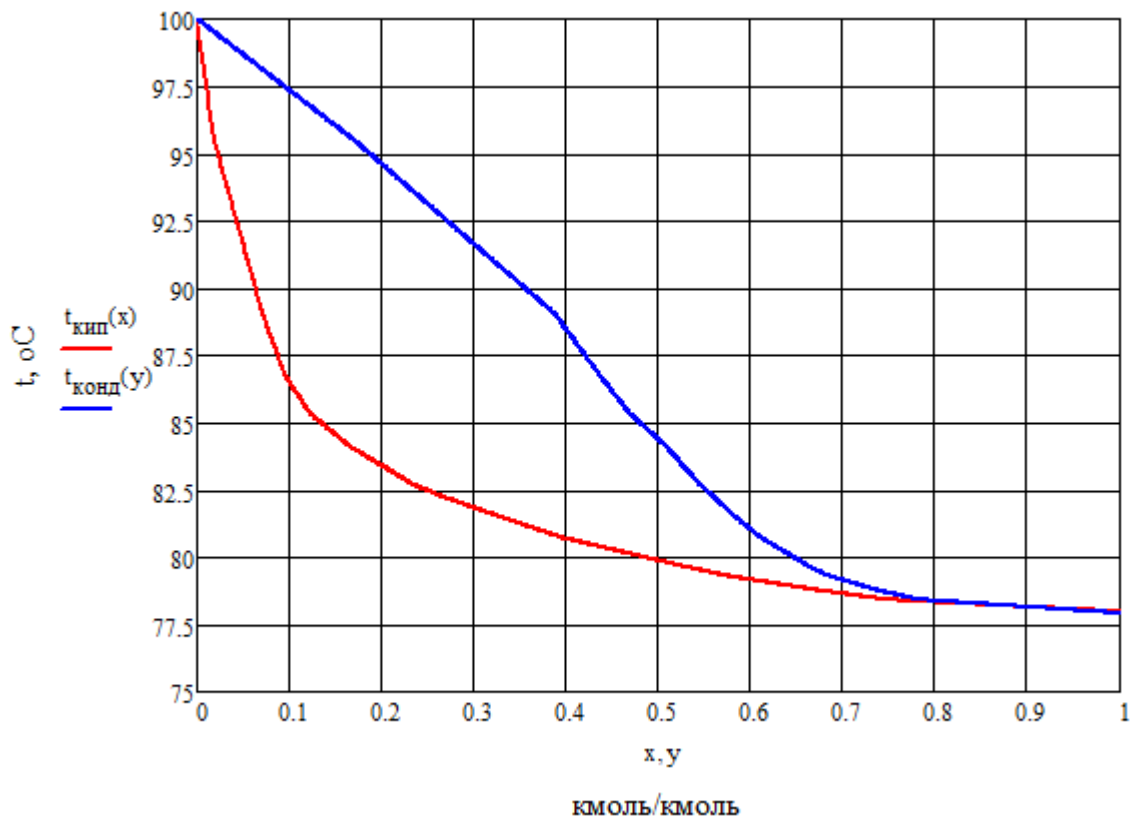


Рисунок 5.2. Ізобари температур кипіння і конденсації бінарної суміші етанол-вода (t - x, y діаграма)

З даного графіка визначаємо температури кипіння та конденсації при заданих концентраціях.

Температура кипіння рідкої суміші при $x_F = 0,207$ кмоль/кмоль, °C:

$$t_{\text{кип},F} = 83,26$$

Температура конденсації парової суміші, що утворилась при кипінні рідкої суміші, яка подається на ректифікацію при $x_F = 0.207$ кмоль/кмоль, °C:

$$t_{\text{конд},F} = t_{\text{кип},F} = 83.26$$

Рівноважна концентрація пари, що утворюється при кипінні рідкої суміші, яка подається на ректифікацію, кмоль/кмоль:

$$y_{F,\text{рівноважна}} = 0,508$$

Температура кипіння рідкої суміші при $x_W = 0.02$ кмоль/кмоль, °C:

$$t_{\text{кип},W} = 95,35$$

Температура конденсації парової суміші, що утворилась при кипінні рідкої суміші, яка подається на ректифікацію при $x_W = 0.2$ кмоль/кмоль, °C:

$$t_{\text{конд.}W} = t_{\text{кип.}W} = 95,35$$

Рівноважна концентрація пари, що утворюється при кипінні рідкої суміші, яка подається на ректифікацію, кмоль/кмоль:

$$y_{W,\text{рівноважна}} = 0,175$$

Температура кипіння рідкої суміші при $x_D = 0.779$ кмоль/кмоль, °C:

$$t_{\text{кип.}D} = 78,35$$

Температура конденсації парової суміші, що утворилась при кипінні рідкої суміші, яка подається на ректифікацію при $x_D = 0.779$ кмоль/кмоль, °C:

$$t_{\text{конд.}D} = 78,35$$

Рівноважна концентрація пари, що утворюється при кипінні рідкої суміші, яка подається на ректифікацію, кмоль/кмоль:

$$y_{D,\text{рівноважна}} = 0,806$$

За даними рівноважного стану бінарної суміші, таблиця 5.1, на y - x діаграмі будується рівноважна лінія процесу $y = f(x)$ та лінія рівних концентрацій $y = x$, (рисунок 5.3)

Мінімальне флегмове число:

$$R_{\min} = \frac{y_D - y_{F,\text{рівноважна}}}{y_{F,\text{рівноважна}} - x_F} = \frac{0,7788 - 0,508}{0,508 - 0,2069} = 0,9$$

Робоче флегмове число приймемо у 1.5 разів більше за мінімальне:

$$R = 1,5R_{\min} = 1,5 \cdot 0,9 = 1,35$$

Середній мольний склад рідкої суміші у верхній частині колони:

$$x_{\text{сер.в}} = \frac{x_D + x_F}{2} = \frac{0,7788 + 0,2069}{2} = 0,4928$$

Середній мольний склад рідкої суміші у нижній частині колони:

$$x_{\text{сер.н}} = \frac{x_W + x_F}{2} = \frac{0,0202 + 0,2069}{2} = 0,1135$$

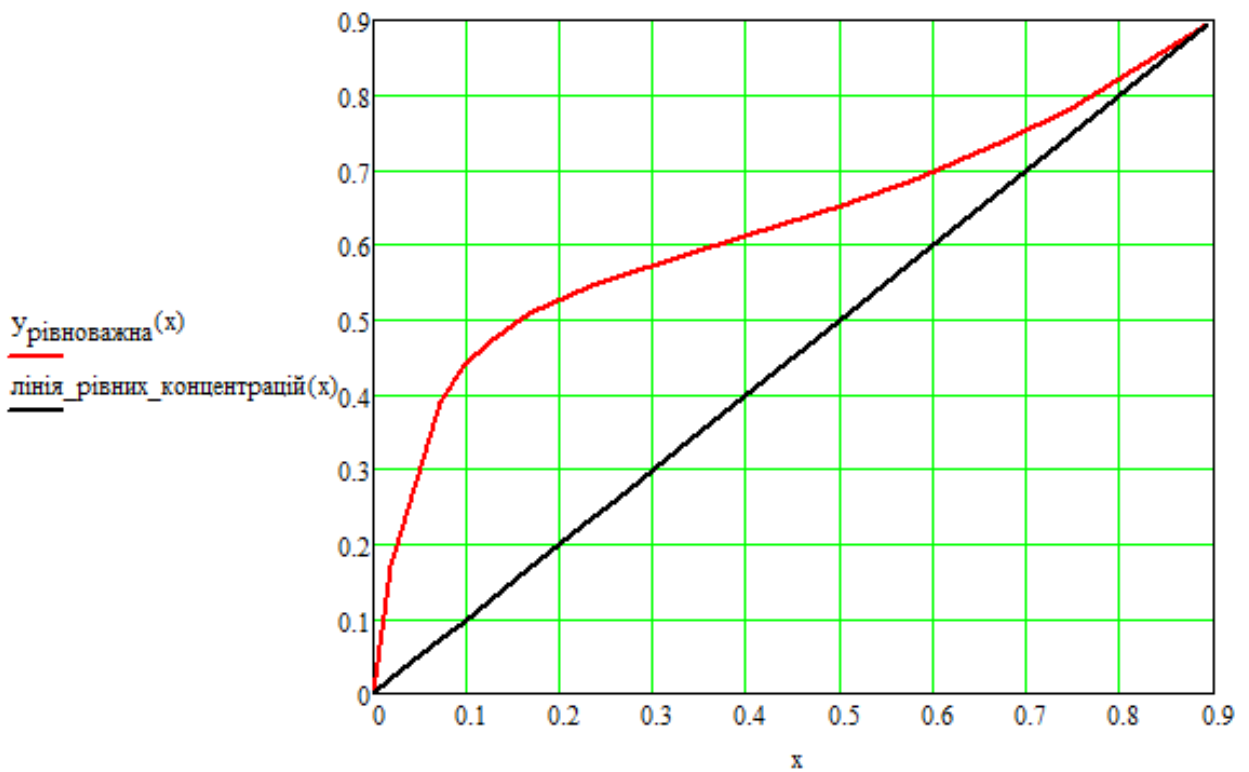


Рисунок 5.3. Рівноважна залежність бінарної суміші етанол-вода на у–х діаграмі

Середня мольна маса рідкої суміші у верхній частині колони, кг/кмоль:

$$M_{L, \text{сер.в}} = x_{\text{сер.в}} M_A + (1 - x_{\text{сер.в}}) M_B = 0,493 \cdot 46 + (1 - 0,493) \cdot 18 = 31,8$$

Середня мольна маса рідкої суміші у нижній частині колони, кг/кмоль:

$$M_{L, \text{сер.н}} = x_{\text{сер.н}} M_A + (1 - x_{\text{сер.н}}) M_B = 0,114 \cdot 46 + (1 - 0,114) \cdot 18 = 21,19$$

Середні масові витрати рідкої суміші у верхній частині колони, кг/с:

$$L_{\text{сер.в}} = L_D R \cdot \frac{M_{L, \text{сер.в}}}{M_D} = 4,118 \cdot 1,35 \cdot \frac{31,8}{39,812} = 4,441$$

Середні масові витрати рідкої суміші у нижній частині колони, кг/с:

$$\begin{aligned} L_{\text{сер.н}} &= L_D R \cdot \frac{M_{L, \text{сер.н}}}{M_D} + L_F M_{L, \text{сер.н}} = \\ &= 4,118 \cdot 1,35 \cdot \frac{21,19}{39,812} + 10 \cdot \frac{21,19}{23,8} = 11,86 \end{aligned}$$

Значення концентрації низькокиплячого компонента у паровій фазі:

$$y_F = \frac{R}{R + 1} x_F + \frac{x_D}{R + 1} = \frac{1,35}{1,35 + 1} \cdot 0,207 + \frac{0,7788}{1,35 + 1} = 0,4503$$

Середній мольний склад парової суміші у верхній частині колони:

$$y_{\text{сер.в}} = \frac{y_D + y_F}{2} = \frac{0,7788 + 0,4503}{2} = 0,6146$$

Середній мольний склад парової суміші у нижній частині колони:

$$y_{\text{сер.н}} = \frac{y_W + y_F}{2} = \frac{0,0202 + 0,4503}{2} = 0,2352$$

Середня мольна маса парової суміші у верхній частині колони,
кг/кмоль:

$$M_{G,\text{сер.в}} = y_{\text{сер.в}} M_A + (1 - y_{\text{сер.в}}) M_B = 0,614 \cdot 46 + (1 - 0,614) \cdot 18 = 35,19$$

Середня мольна маса парової суміші у нижній частині колони,
кг/кмоль:

$$M_{G,\text{сер.н}} = y_{\text{сер.н}} M_A + (1 - y_{\text{сер.н}}) M_B = 0,235 \cdot 46 + (1 - 0,235) \cdot 18 = 24,58$$

Масові витрати парової суміші дорівнюють масовим витратам
дистилляту, кг/с:

$$G_D = L_D = 4,118$$

Середні масові витрати парової суміші у верхній частині колони, кг/с:

$$G_{\text{сер.в}} = G_D (R + 1) \cdot \frac{M_{G,\text{сер.в}}}{M_D} = 4,118(1,35 + 1) \cdot \frac{35,19}{39,81} = 8,554$$

Середні масові витрати парової суміші у нижній частині колони, кг/с:

$$G_{\text{сер.н}} = G_D (R + 1) \cdot \frac{M_{G,\text{сер.н}}}{M_D} = 4,118(1,35 + 1) \cdot \frac{24,58}{39,81} = 5,977$$

Для визначення швидкості пари у верхній та нижній частинах колони спочатку необхідно визначити середні значення густин пари та рідкої суміші у цих частинах колони.

Для цього за t - x ,у діаграмою 4.5 визначаємо середні температури парової фази:

– у верхній частині колони $t_{y_{\text{сер.в}}} = 81.46$ °С, що відповідає температурі конденсації бінарної суміші при концентрації $y_{\text{сер.в}} = 0.614$;

– у нижній частині колони $t_{y_{\text{сер.н}}} = 93.29$ °С, що відповідає температурі конденсації бінарної суміші при концентрації $y_{\text{сер.н}} = 0.614$;

Густина парової суміші у верхній частині колони за середньої температури $t_{сер.в}$, кг/м³:

$$\rho_{G,в} = \frac{M_{G,сер.в}}{22,4} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_{у,сер.в}} = \frac{35,19}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + 81,91} = 1,208$$

Де $T_0 = 273$ – температура в кельвінах при 0 °С.

Густина парової суміші у нижній частині колони за середньої температури $t_{сер.н}$, кг/м³:

$$\rho_{G,н} = \frac{M_{G,сер.н}}{22,4} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_{у,сер.н}} = \frac{24,58}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + 93,29} = 0,8181$$

Об'ємні витрати парової суміші у верхній частині колони, м³/с:

$$V_{G,в} = \frac{G_{сер.в}}{\rho_{G,в}} = \frac{8,554}{1,208} = 7,081$$

Об'ємні витрати парової суміші у нижній частині колони, м³/с:

$$V_{G,н} = \frac{G_{сер.н}}{\rho_{G,н}} = \frac{5,977}{0,8181} = 7,298$$

Використавши дані [8] розрахуємо густини рідкої та газової фаз.

Густина низькокиплячого компонента при температурі вхідної суміші, кг/м³:

$$\rho_{A,F} = 731,9$$

Густина низькокиплячого компонента при температурі дистилляту, кг/м³:

$$\rho_{A,D} = 736,5$$

Густина низькокиплячого компонента при температурі кубового залишку, кг/м³:

$$\rho_{A,W} = 720,5$$

Густина висококиплячого компонента при температурі вхідної суміші, кг/м³:

$$\rho_{B,F} = 969,7$$

Густина висококиплячого компонента при температурі дистилляту, кг/м³:

$$\rho_{B,D} = 972,9$$

Густина висококиплячого компонента при температурі кубового залишку, кг/м³:

$$\rho_{D,W} = 961,2$$

Густина рідкої вихідної суміші що подається на ректифікацію при температурі, кг/м³:

$$\rho_{L,F} = \frac{1}{\frac{x_F}{\rho_{A,F}} + \frac{1-x_F}{\rho_{B,F}}} = \frac{1}{\frac{0,2069}{731,9} + \frac{1-0,2069}{969,7}} = 908,6$$

Густина рідкої суміші в дистилаті при температурі, кг/м³:

$$\rho_{L,D} = \frac{1}{\frac{x_D}{\rho_{A,D}} + \frac{1-x_D}{\rho_{B,D}}} = \frac{1}{\frac{0,7788}{736,5} + \frac{1-0,7788}{972,9}} = 778,4$$

Густина рідкої вихідної в кубовому залишку при температурі, кг/м³:

$$\rho_{L,W} = \frac{1}{\frac{x_W}{\rho_{A,W}} + \frac{1-x_W}{\rho_{B,W}}} = \frac{1}{\frac{0,0202}{719,5} + \frac{1-0,0202}{960,5}} = 954,8$$

Середня густина рідкої суміші у верхній частині колони, кг/м³:

$$\rho_{L,B} = \frac{\rho_{L,F} + \rho_{L,D}}{2} = \frac{908,6 + 778,4}{2} = 843,5$$

Середня густина рідкої суміші у нижній частині колони, кг/м³:

$$\rho_{L,H} = \frac{\rho_{L,F} + \rho_{L,W}}{2} = \frac{919,7 + 955,64}{2} = 931,7$$

Середня густина рідкої суміші в колоні, кг/м³:

$$\rho_L = \frac{\rho_{L,B} + \rho_{L,H}}{2} = \frac{843,5 + 931,7}{2} = 887,6$$

Гранична швидкість пари для ковпачкової тарілки у верхній частині колони, м/с:

$$w_{max,B} = 0,05 \sqrt{\frac{\rho_{L,B}}{\rho_{G,B}}} = 0,05 \sqrt{\frac{843,5}{1,208}} = 1,321$$

Приймаємо робочу швидкість пари для ковпачкової тарілки у верхній частині колони на 10% меншою, м/с:

$$w_B = 0,9w_{max,B} = 0,9 \cdot 1,321 = 1,189$$

Гранична швидкість пари для ковпачкової тарілки у нижній частині колони, м/с:

$$w_{max,H} = 0,05 \sqrt{\frac{\rho_{L,H}}{\rho_{G,H}}} = 0,05 \sqrt{\frac{931,7}{0,818}} = 1,687$$

Приймаємо робочу швидкість пари для ковпачкової тарілки у нижній частині колони на 10% меншою, м/с:

$$w_H = 0,9w_{max,H} = 0,9 \cdot 1,687 = 1,518$$

Із рівняння об'ємних витрат діаметр верхньої частини колони, м:

$$D_B = \sqrt{\frac{4V_{G,B}}{\pi w_B}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7,081}{\pi \cdot 1,189}} = 2,754$$

Із рівняння об'ємних витрат діаметр нижньої частини колони, м:

$$D_H = \sqrt{\frac{4V_{G,H}}{\pi w_H}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7,298}{\pi \cdot 1,524}} = 2,474$$

Для обох частин колони приймаємо $D = 2,8$ м.

5.2 Визначення числа тарілок

Метою розрахунку є визначення числа тарілок та висоти тарілчастої частини колони.

Флегмове число R	1,35;
Концентрація дистилату, x_D , кмоль	0,779;
Концентрація вихідної суміші, x_F , кмоль	0,207;
Концентрація кубового залишку, x_D , кмоль	0,02.

Побудовані в $y-x$ діаграмі рівноважна та робоча лінії процесу.

Розрахунок ведеться за [8].

Спочатку побудуємо робочу лінію. Для її побудови у верхній частині колони, потрібно відкласти відрізок що виходить з перетину ліній рівноважної

концентрації та концентрації дистилляту до відрізка на осі у величина якого дорівнює:

$$B = \frac{x_D}{R + 1} = \frac{0.7788}{1.35 + 1} = 0.331$$

Для побудови робочої лінії у нижній частині колони потрібно відкласти відрізок від перетину ліній рівноважної концентрації та концентрації кубового залишку до перетину з робочою лінією у верхній частині колони у точці де концентрація спирту дорівнює концентрації вихідної суміші (рисунк 5.4).

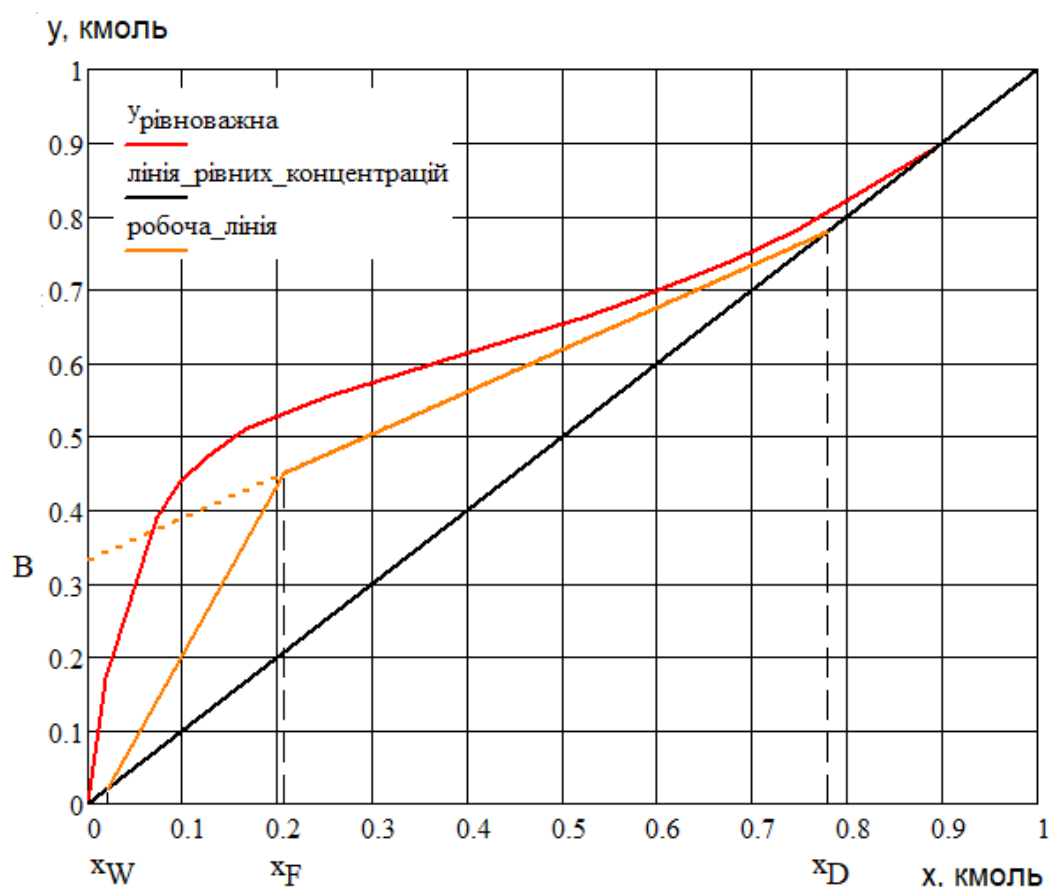


Рисунок 5.4 – Побудова робочої лінії процесу

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

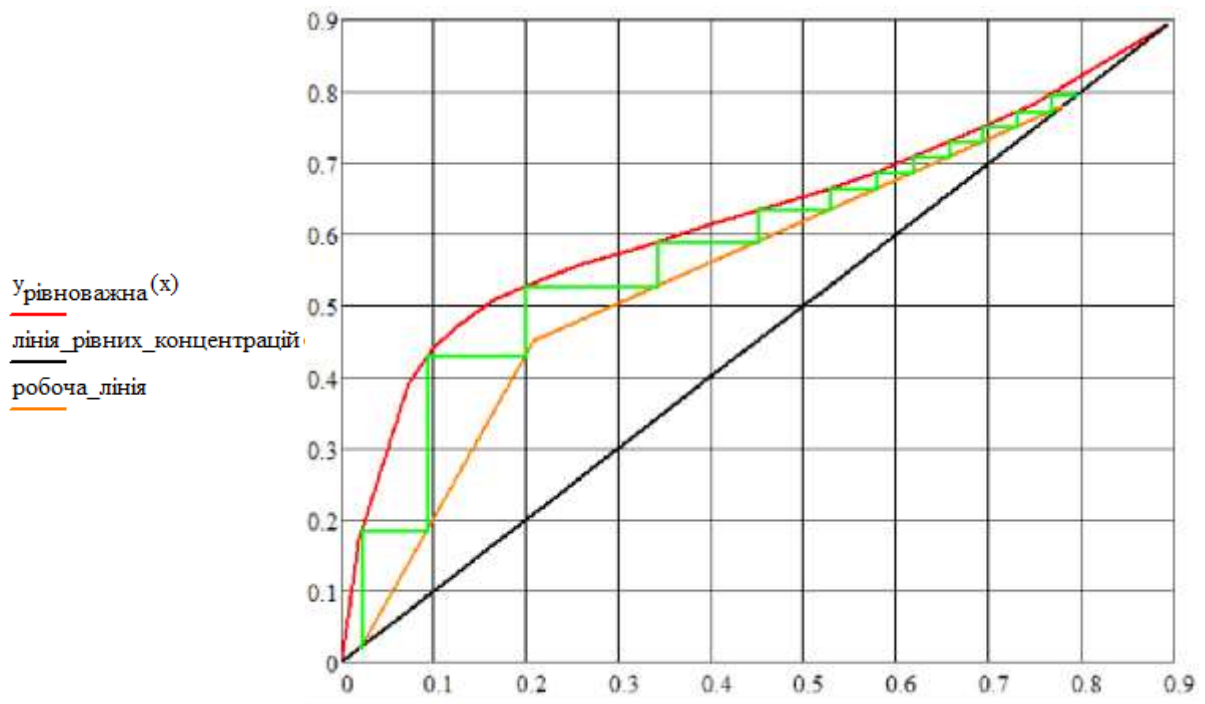


Рисунок 5.5 – Схема роботи тарілок в $y-x$ діаграмі

Кількість сходинок $n = 12$

Приймаємо коефіцієнт ефективності тарілки $\eta = 0,75$

Тоді загальне число тарілок:

$$n_{\text{заг}} = \frac{n}{\eta} = \frac{12}{0,75} = 16$$

Відстань між тарілками приймаємо 400 мм, тоді

Висота тарілчастої частини:

$$h_t = 0,4 \cdot 16 = 6,4 \text{ м}$$

Висновок: в результаті проведених побудов та розрахунків встановлено, що необхідна кількість тарілок складає 16. Приймаємо колону діаметром 2800 мм і висотою 10000 мм.

5.3 Конструктивний розрахунок тарілки

Метою розрахунку є визначення параметрів тарілки та ковпачків. Тарілка із ковпачком ректифікаційної колони зображена на рисунку 5.6.

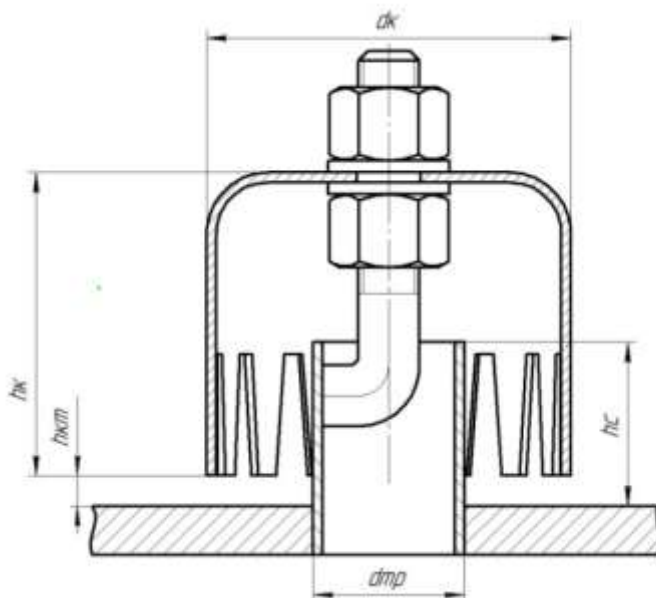


Рисунок 5.6 – Тарілка з ковпачками

Вихідні дані:

Діаметр апарата, d , м 2,8;

Об'єм рідини, що стікає у нижній частині колони, $V_{\text{сер.н}}$, м³/с 0,01.

Розрахунок ведеться за [9].

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

$$S_{\Pi} = 0,1 \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 0,1 \cdot \frac{3,14 \cdot 2,8^2}{4} = 0,616 \text{ м}^2$$

Вибираємо парові патрубки розміром 32х3,5 мм.

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

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

де $\delta = 0,0035$ м – товщина стінки парового патрубку, $d_{\Pi} = 0,025$ м – діаметр парового патрубку.

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

паровим патрубком h_k :

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

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

Діаметр переливної трубки:

$$d_{\text{тр}} = \sqrt{\frac{4V_{\text{сер.н}}}{\pi\omega_p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,013}{3,14 \cdot 0,15}} = 0,403 \text{ м}$$

Приймаємо $d_{\text{тр}} = 0,4 \text{ м}$.

де $V_{\text{сер.н}}$ – об'єм рідини, яка стікає через переливну трубу у нижній частині колони, $\text{м}^3/\text{с}$; $\omega_p = 0.15$ – прийнята швидкість стікання рідини, м/с .

Площі кола з діаметром 400 мм відповідає площа від хорди до краю кола відстанню $h = 0.148.5 \text{ м}$

Приймаємо $h = 0.15 \text{ м}$

Висновок: в даному розрахунку було визначено розміри ковпачків $h_k = 0,00625 \text{ м}$, відстань вирізу від краю апарату $h = 0.15 \text{ м}$.

5.4 Розрахунок товщини стінки обичайки корпусу апарата

Метою розрахунку є визначення з умови міцності товщини стінки циліндричної обичайки корпусу апарата який працює під внутрішнім надлишковим тиском, а також вибір стандартної труби для виготовлення обичайки.

Вихідні дані для розрахунку:

Циліндрична обичайка зі сталі марки	08X18H10;
Внутрішній діаметр апарата, м, D	2,8;
Розрахунковий тиск, МПа, P	0,1;
Довжина циліндричної обичайки, м, L	6,4;
Сума додатків до розрахункової товщини, м, C	$1 \cdot 10^{-3}$.
Розрахунок ведемо за [10]	

Розрахункова схема циліндричної обичайки корпусу апарата зображена на рисунку 5.7.

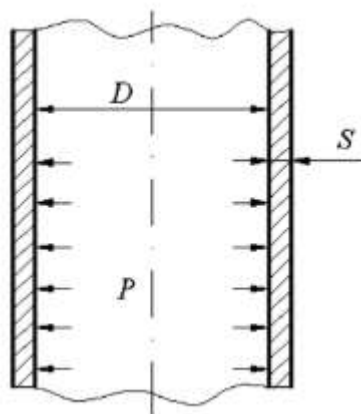


Рисунок 5.7 – Розрахункова схема циліндричної обичайки корпусу апарата
Розрахунки наведені у програмному розрахунку додатка Б.

Допустиме напруження матеріалу обичайки за розрахункової температури, МПа:

$$[\sigma] = 156$$

Модуль пружності в умовах розтягу, МПа

$$E = 2 \cdot 10^5$$

Коефіцієнт запасу стійкості:

$$n_y = 2,4$$

Коефіцієнт K_1 :

$$K_1 = \frac{0,865 \cdot n_y \cdot P \cdot 10^{-6}}{E} \quad (5.3)$$

Розрахункова довжина елемента, що примикає до циліндричної обичайки, м:

$$l_{\text{ц}} = \frac{D}{3} \quad (5.4)$$

Приймаємо, м:

$$l_{\text{ц}} = 1$$

Розрахункова довжина обичайки, м:

$$L_R = L + 2 \cdot l_{\text{ц}} \quad (5.5)$$

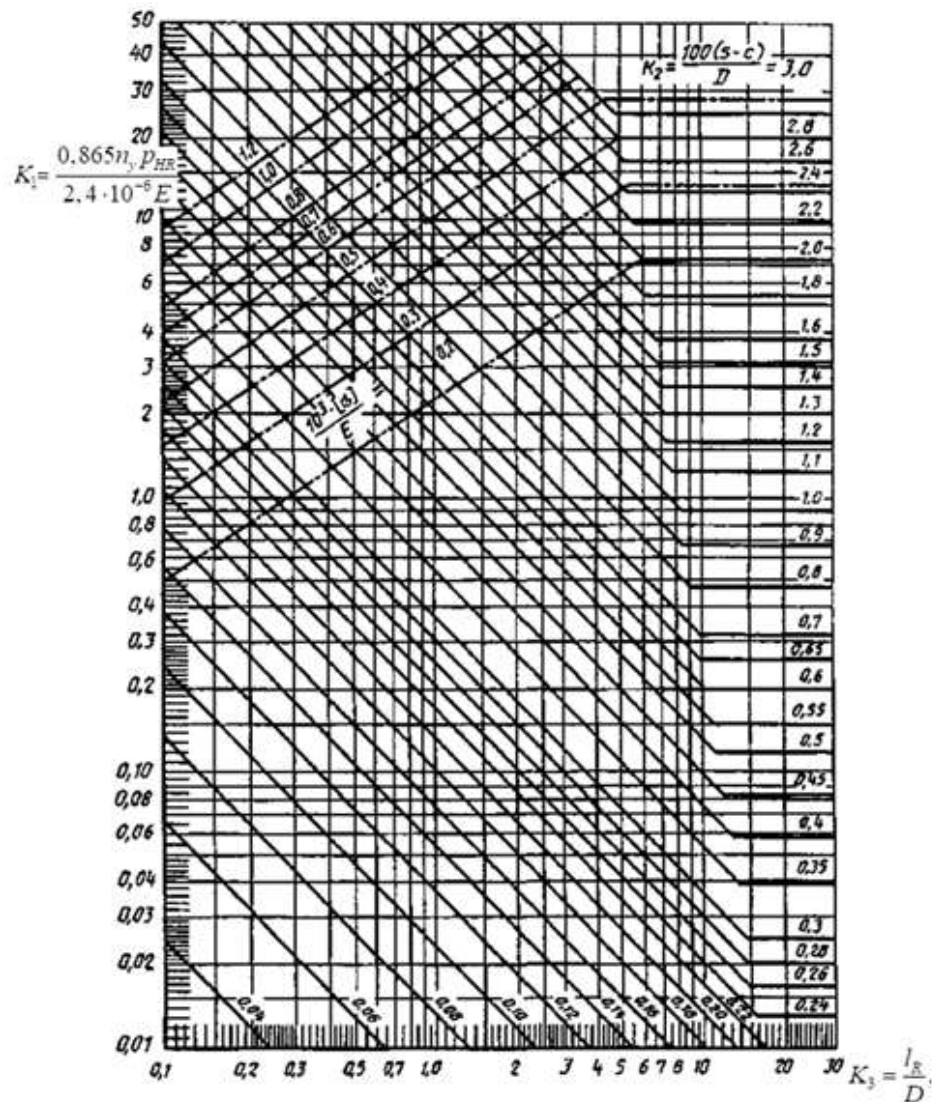
Коефіцієнт K_3 :

$$K_3 = \frac{L_R}{D} \quad (5.6)$$

Коефіцієнт K_2 відповідно до таблиці 5.2:

$$K_2 = 0,495$$

Таблиця 5.2 – Номограма для визначення коефіцієнта K_2 [10]



Розрахункова товщина стінки циліндричної обичайки, м:

$$S_R = K_2 D \cdot 10^{-2} \quad (5.7)$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки у першому наближенні, м:

$$S = S_R + C \quad (5.8)$$

Приймаємо:

$$S = 0,015 \text{ м}$$

Допустимий зовнішній тиск з умови міцності, МПа:

$$[P_H]_{\sigma} = \frac{2[\sigma](S - C)}{D + (S - C)} \quad (5.9)$$

Коефіцієнт B_1 :

$$B_1 = \min \left(1; \frac{9,45 \cdot D^2}{L_R \cdot 100(S - C)} \right) \quad (5.10)$$

Допустимий зовнішній тиск з умов стійкості в границях пружності, МПа:

$$[P_H]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot E \cdot D}{n_y \cdot B_1 \cdot L_R \cdot \left(\frac{100(S - C)}{D} \right)^{2.5}} \quad (5.11)$$

Допустимий зовнішній тиск, МПа:

$$[P_H] = \frac{[P_H]_{\sigma}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P_H]_{\sigma}}{[P_H]_E} \right)^2}} \quad (5.12)$$

Перевірка умови стійкості, МПа:

$$P < [P_H] = 0,1 < 0,1019 \quad (5.13)$$

Висновок: Визначена виконавча товщина стінки обичайки $S = 0,015 \text{ м}$ забезпечує міцність апарата в умовах робочих навантажень. Значення робочого тиску $P = 0,1 \text{ МПа}$ не перевищує значення допустимого тиску $[P_H] = 0,1019 \text{ МПа}$.

5.5 Розрахунок на міцність еліптичного днища

Метою розрахунку є визначення з умови міцності товщини стінки еліптичного днища корпусу апарата який працює під внутрішнім надлишковим тиском.

Розрахункова схема еліптичного днища зображена на рисунку 5.8.

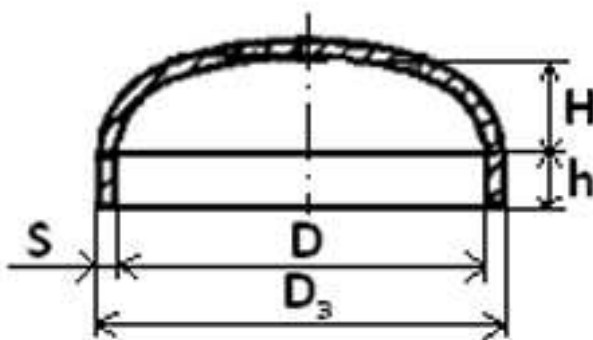


Рисунок 5.8 – Розрахункова схема еліптичного днища

Вихідні дані для розрахунку:

Розрахунок виконати для робочих умов.

Еліптичне днище виконано зі сталі марки	08X18H10;
Внутрішній діаметр апарата, м, D	2,8;
Зовнішній розрахунковий тиск, МПа, P	0,1;
Довжина циліндричної обичайки, м, L	6,4;
Сума додатків до розрахункової товщини, м, C	$1 \cdot 10^{-3}$;
Допустиме напруження матеріалу обичайки, МПа, $[\sigma]$	156;
Модуль пружності в умовах розтягу, МН, E	$2 \cdot 10^5$
Коефіцієнт запасу стійкості, n_y	2,4;
Коефіцієнт K_e	0,98.

Розрахунок ведемо за [10]

Внутрішній радіус кривизни в вершині днища або кришки, м:

$$R_\delta = D = 2,8$$

Висота днища, м:

$$H = 0,25D = 0,25 \cdot 2,8 = 0,7$$

Розрахункова товщина стінки циліндричної обичайки, м:

$$\begin{aligned}
 S_R &= \max \left(\frac{K_e R_\delta}{510} \sqrt{n_y P \cdot 10^{-6} E}; \frac{P R_\delta}{2[\sigma]} \right) = \\
 &= \max \left(\frac{0,9 \cdot 2,8}{510} \sqrt{2,4 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5}; \frac{0,1 \cdot 2,8}{2 \cdot 156} \right) = 0,005413
 \end{aligned}$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки, м:

$$S = S_R + C = 0,0054 + 0,001 = 0,0064$$

Округляємо до більшого цілого числа в мм:

$$S = 0,007 \text{ м}$$

Допустимий зовнішній тиск з умов міцності, МПа:

$$[P_H]_{\sigma} = \frac{2[\sigma](S - C)}{D + 0,5(S - C)} = \frac{2 \cdot 156 \cdot (0,007 - 0,001)}{2,8 + 0,5(0,007 - 0,001)} = 0,6679$$

Коефіцієнт x :

$$x = \frac{10(S - C)}{D} \left(\frac{D - 2H}{2H} \right) = \frac{10(0,007 - 0,001)}{2,8} \left(\frac{2,8 - 2 \cdot 0,7}{2 \cdot 0,7} \right) = 0,03214$$

Остаточне значення коефіцієнта K_e :

$$K_e = \frac{1 + (2,4 + 8x)x}{1 + (3 + 10x)x} = \frac{1 + (2,4 + 8 \cdot 0,03214) \cdot 0,03214}{1 + (3 + 10 \cdot 0,03214) \cdot 0,03214} = 0,9807$$

Допустимий зовнішній тиск з умов стійкості в границях пружності, МПа:

$$[P_H]_E = \frac{26 \cdot 10^{-6} E}{n_y \left(\frac{100(S - C)}{K_e R_{\delta}} \right)^2} = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5}{2,4 \left(\frac{100(0,007 - 0,001)}{0,9807 \cdot 2,8} \right)^2} = 0,1034$$

Допустимий зовнішній тиск, МПа:

$$[P_H] = \frac{[P_H]_{\sigma}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P_H]_{\sigma}}{[P_H]_E} \right)^2}} = \frac{0,668}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,668}{0,104} \right)^2}} = 0,1022$$

Перевірка умови стійкості, МПа:

$$P < [P_H] = 0,1 < 0,1022$$

Умова стійкості виконується.

Висновок: Визначена виконавча товщина стінки еліптичного днища $S = 0,007$ м забезпечує міцність апарата в умовах робочих навантажень. Значення робочого тиску $P = 0,1$ МПа не перевищує значення допустимого тиску $[P_H] = 0,1022$ МПа.

5.6 Розрахунок вітрового навантаження

Метою розрахунку є визначення розрахункового згинаючого моменту від дії вітрового навантаження в розрахунковому перерізі апарата.

Розрахункова схема колонного апарату представлена на рисунку 5.9.

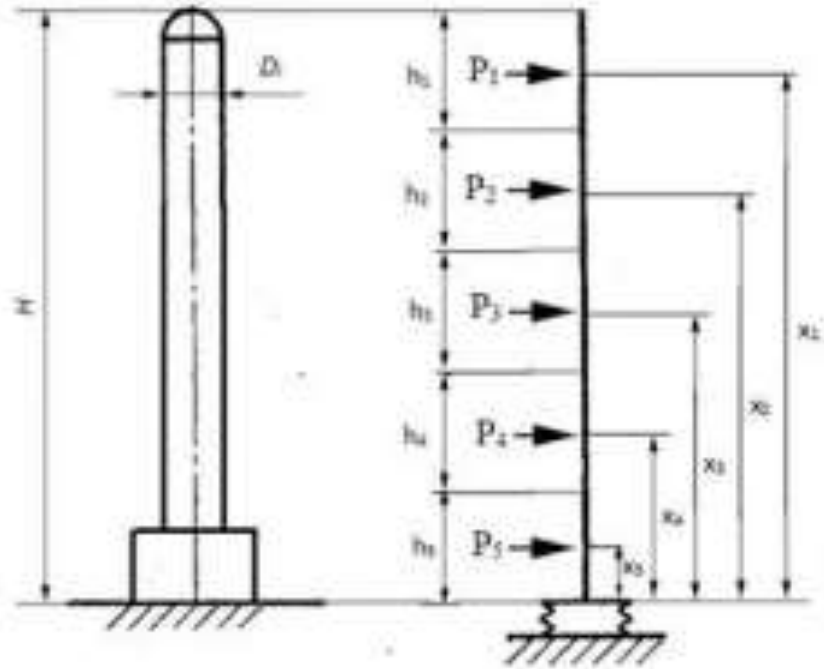


Рисунок 5.9 – Розрахункова схема колонного апарату

Вихідні дані для розрахунку:

Циліндрична зварна обичайка зі сталі марки	08X18H10;
Внутрішній діаметр апарата, м, D	2,8;
Зовнішній розрахунковий тиск, МПа, P	0,1;
Довжина циліндричної обичайки, м, L	6,4;
Висота колони, м, H	10;
Сума додатків до розрахункової товщини, м, C	$1 \cdot 10^{-3}$;
Допустиме напруження матеріалу обичайки, МПа, $[\sigma]$	156;
Модуль пружності в умовах розтягу, МН, E	$2 \cdot 10^5$;
Вага апарата, МН, G	0,25;
Відстань до розрахункового перерізу (висота опорної обичайки), м, x_0	1,5;

Коефіцієнт нерівномірності стиснення ґрунту, МН/м³, C_F 60;
 Виконавча товщина опорної обичайки, м, S 0,015;
 Розрахунок виконати для робочих умов.
 Розрахунок ведемо за [11]

Вага кожної ділянки колони, H :

$$G_i = \frac{G}{z} = \frac{250000}{5} = 5 \cdot 10^4$$

Відстань від рівня кріплення колони до середини i -ї ділянки колони, м:

$$x_1 = \frac{H}{10} \cdot 9 = \frac{10}{10} \cdot 9 = 9$$

$$x_2 = \frac{H}{10} \cdot 7 = \frac{10}{10} \cdot 7 = 7$$

$$x_3 = \frac{H}{10} \cdot 5 = \frac{10}{10} \cdot 5 = 5$$

$$x_4 = \frac{H}{10} \cdot 3 = \frac{10}{10} \cdot 3 = 3$$

$$x_5 = \frac{H}{10} = \frac{10}{10} = 1$$

Висота i -ї ділянки колони, м:

$$h_i = \frac{H}{z} = \frac{10}{5} = 2$$

Мінімальний момент інерції підшви фундаменту, м:

$$I_F = \frac{1.3\pi D_k^4}{64} = \frac{1.3\pi \cdot 3^4}{64} = 5,17$$

Зовнішній діаметр апарата, м:

$$D_i = D + 2S = 2,8 + 2 \cdot 0,015 = 2,83$$

Момент інерції верхнього металевого перерізу i -ї ділянки колони щодо центральної осі, м⁴:

$$I_i = \frac{\pi(D_i - 2C)^4 - D^4}{64} = \frac{\pi(2,83 - 2 \cdot 0,001)^4 - 2,8^4}{64} = 0,1225$$

Період власних коливань стрижня постійного перерізу з жорстким закріпленням, с:

$$T_0 = \frac{1,8HG_H}{gE \cdot 10^6 \cdot I_i} = \frac{1,8 \cdot 10 \cdot 250000 \cdot 8}{9,81 \cdot 200000 \cdot 10^6 \cdot 0,125} = 0,05805$$

Розрахунковий період власних коливань колони, с:

$$T = T_0 \left(1 + \frac{4E \cdot 10^6 \cdot I_i}{HC_F I_F} \right) = 0,042 \left(1 + \frac{4 \cdot 200000 \cdot 10^6 \cdot 0,12}{10 \cdot 60 \cdot 10^6 \cdot 5,17} \right) = 0,3314$$

Коефіцієнти β :

$$\beta_1 = \frac{3}{2} \left(\frac{x_1}{H} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{x_1}{H} \right)^3 = \frac{3}{2} \left(\frac{7,2}{10} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{7,2}{10} \right)^3 = 0,851$$

$$\beta_2 = \frac{3}{2} \left(\frac{x_2}{H} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{x_2}{H} \right)^3 = \frac{3}{2} \left(\frac{5,6}{10} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{5,6}{10} \right)^3 = 0,5635$$

$$\beta_3 = \frac{3}{2} \left(\frac{x_3}{H} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{x_3}{H} \right)^3 = \frac{3}{2} \left(\frac{4}{10} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{4}{10} \right)^3 = 0,313$$

$$\beta_4 = \frac{3}{2} \left(\frac{x_4}{H} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{x_4}{H} \right)^3 = \frac{3}{2} \left(\frac{2,4}{10} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{2,4}{10} \right)^3 = 0,1215$$

$$\beta_5 = \frac{3}{2} \left(\frac{x_5}{H} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{x_5}{H} \right)^3 = \frac{3}{2} \left(\frac{0,8}{10} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{0,8}{10} \right)^3 = 0,0145$$

Відносні переміщення центрів тяжіння, відповідно, і- х ділянок, що виникають при власних коливаннях, 1/(МН·м):

$$\alpha_1 = \frac{\gamma H}{2EI_i} \beta_1 + \frac{x_1}{HC_F I_F} =$$

$$= \frac{\frac{2}{3} \cdot 10}{2 \cdot 200000 \cdot 0,1225} \cdot 0,851 + \frac{7,2}{10 \cdot 60 \cdot 10^6 \cdot 5,17} = 1,157 \cdot 10^{-4}$$

$$\alpha_2 = \frac{\gamma H}{2EI_i} \beta_2 + \frac{x_2}{HC_F I_F} =$$

$$= \frac{\frac{2}{3} \cdot 10}{2 \cdot 200000 \cdot 0,1225} \cdot 0,563 + \frac{5,6}{10 \cdot 60 \cdot 10^6 \cdot 5,17} = 7,667 \cdot 10^{-5}$$

$$\alpha_3 = \frac{\gamma H}{2EI_i} \beta_3 + \frac{x_3}{HC_F I_F} =$$

$$= \frac{\frac{2}{3} \cdot 10}{2 \cdot 200000 \cdot 0,1225} \cdot 0,313 + \frac{4}{10 \cdot 60 \cdot 10^6 \cdot 5,17} = 4,252 \cdot 10^{-5}$$

$$\alpha_4 = \frac{\gamma H}{2EI_i} \beta_4 + \frac{x_4}{HC_F I_F} =$$

$$= \frac{\frac{2}{3} \cdot 10}{2 \cdot 200000 \cdot 0,1225} \cdot 0,121 + \frac{2,4}{10 \cdot 60 \cdot 10^6 \cdot 5,17} = 1,653 \cdot 10^{-5}$$

$$\alpha_5 = \frac{\gamma H}{2EI_i} \beta_5 + \frac{x_5}{HC_F I_F} =$$

$$= \frac{\frac{2}{3} \cdot 10}{2 \cdot 200000 \cdot 0,1225} \cdot 0,0145 + \frac{0,8}{10 \cdot 60 \cdot 10^6 \cdot 5,17} = 1,973 \cdot 10^{-6}$$

Де $\gamma = \frac{2}{3}$ – коефіцієнт переміщення.

Коефіцієнт, що враховує зміну вітрового навантаження по висоті КОЛОНИ:

$$\Theta_1 = \left(\frac{x_1}{10}\right)^{0,3} = \left(\frac{7,2}{10}\right)^{0,3} = 0,9689$$

$$\Theta_2 = \left(\frac{x_2}{10}\right)^{0,3} = \left(\frac{5,6}{10}\right)^{0,3} = 0,8985$$

$$\Theta_3 = \left(\frac{x_3}{10}\right)^{0,3} = \left(\frac{4}{10}\right)^{0,3} = 0,8123$$

$$\Theta_4 = 0,75$$

$$\Theta_5 = 0,75$$

Нормативне значення вітрового тиску в місті Київ, Па:

$$q_0 = 370$$

Середня складова вітрового навантаження на i -й ділянці апарата, Н:

$$P_{st1} = K \cdot q_0 \cdot \Theta_1 \cdot D_i \cdot h_i = 0,7 \cdot 370 \cdot 0,9689 \cdot 2,83 \cdot 2 = 1420$$

$$P_{st2} = K \cdot q_0 \cdot \Theta_2 \cdot D_i \cdot h_i = 0,7 \cdot 370 \cdot 0,8985 \cdot 2,83 \cdot 2 = 1318$$

$$P_{st3} = K \cdot q_0 \cdot \Theta_3 \cdot D_i \cdot h_i = 0,7 \cdot 370 \cdot 0,8123 \cdot 2,83 \cdot 2 = 1190$$

$$P_{st4} = K \cdot q_0 \cdot \Theta_4 \cdot D_i \cdot h_i = 0,7 \cdot 370 \cdot 0,75 \cdot 2,83 \cdot 2 = 1099$$

$$P_{st5} = K \cdot q_0 \cdot \Theta_5 \cdot D_i \cdot h_i = 0,7 \cdot 370 \cdot 0,75 \cdot 2,83 \cdot 2 = 1099$$

Де $K = 0,7$.

Коефіцієнт пульсації тиску вітру m_k для середини i - ї ділянки апарата на висоті x_i :

$$m_1 = 0,76 \cdot \left(\frac{x_1}{10}\right)^{-0,15} = 0,76 \cdot \left(\frac{9}{10}\right)^{-0,15} = 0,7221$$

$$m_2 = 0,76 \cdot \left(\frac{x_2}{10}\right)^{-0,15} = 0,76 \cdot \left(\frac{7}{10}\right)^{-0,15} = 0,8018$$

$$m_3 = 0,76 \cdot \left(\frac{x_3}{10}\right)^{-0,15} = 0,76 \cdot \left(\frac{5}{10}\right)^{-0,15} = 0,8433$$

$$m_4 = 0,76 \cdot \left(\frac{x_4}{10}\right)^{-0,15} = 0,76 \cdot \left(\frac{3}{10}\right)^{-0,15} = 0,9104$$

$$m_5 = 0,76 \cdot \left(\frac{x_5}{10}\right)^{-0,15} = 0,76 \cdot \left(\frac{01}{10}\right)^{-0,15} = 1,074$$

Зведене відносне прискорення центра ваги i - ї ділянки:

$$\eta_1 = \alpha_1 \cdot \frac{\alpha_1 m_1 P_{st1} + \alpha_2 m_2 P_{st2} + \alpha_3 m_3 P_{st3} + \alpha_4 m_4 P_{st4} + \alpha_5 m_5 P_{st5}}{\alpha_1^2 G_i + \alpha_2^2 G_i + \alpha_3^2 G_i + \alpha_4^2 G_i + \alpha_5^2 G_i} = 0,0292$$

$$\eta_2 = \alpha_2 \cdot \frac{\alpha_1 m_1 P_{st1} + \alpha_2 m_2 P_{st2} + \alpha_3 m_3 P_{st3} + \alpha_4 m_4 P_{st4} + \alpha_5 m_5 P_{st5}}{\alpha_1^2 G_i + \alpha_2^2 G_i + \alpha_3^2 G_i + \alpha_4^2 G_i + \alpha_5^2 G_i} = 0,01935$$

$$\eta_3 = \alpha_3 \cdot \frac{\alpha_1 m_1 P_{st1} + \alpha_2 m_2 P_{st2} + \alpha_3 m_3 P_{st3} + \alpha_4 m_4 P_{st4} + \alpha_5 m_5 P_{st5}}{\alpha_1^2 G_i + \alpha_2^2 G_i + \alpha_3^2 G_i + \alpha_4^2 G_i + \alpha_5^2 G_i} = 0,01073$$

$$\eta_4 = \alpha_4 \cdot \frac{\alpha_1 m_1 P_{st1} + \alpha_2 m_2 P_{st2} + \alpha_3 m_3 P_{st3} + \alpha_4 m_4 P_{st4} + \alpha_5 m_5 P_{st5}}{\alpha_1^2 G_i + \alpha_2^2 G_i + \alpha_3^2 G_i + \alpha_4^2 G_i + \alpha_5^2 G_i} = 0,00417$$

$$\eta_5 = \alpha_5 \cdot \frac{\alpha_1 m_1 P_{st1} + \alpha_2 m_2 P_{st2} + \alpha_3 m_3 P_{st3} + \alpha_4 m_4 P_{st4} + \alpha_5 m_5 P_{st5}}{\alpha_1^2 G_i + \alpha_2^2 G_i + \alpha_3^2 G_i + \alpha_4^2 G_i + \alpha_5^2 G_i} = 0,00049$$

Безрозмірний параметр, що залежить від періоду власних коливань апарата колонного типу:

$$\varepsilon = T \cdot \frac{\sqrt{q_0}}{790} = 0,332 \cdot \frac{\sqrt{370}}{790} = 0,008069$$

Коефіцієнт ν :

$$\nu = 0,968 - 0,025\sqrt{H} = 0,968 - 0,025\sqrt{10} = 0,8889$$

Коефіцієнт динамічності ξ :

$$\zeta = 1,1 + 15,5 \cdot \varepsilon = 1,1 + 15,5 \cdot 0,00645 = 1,42$$

Пульсаційна складова вітрового навантаження на i -й ділянці апарата, Н:

$$P_{din1} = v \cdot G_i \cdot \zeta \cdot \eta_1 = 0.8889 \cdot 50000 \cdot 1,45 \cdot 0,0292 = 1887$$

$$P_{din2} = v \cdot G_i \cdot \zeta \cdot \eta_2 = 0.8889 \cdot 50000 \cdot 1,45 \cdot 0,01935 = 1250$$

$$P_{din3} = v \cdot G_i \cdot \zeta \cdot \eta_3 = 0.8889 \cdot 50000 \cdot 1,45 \cdot 0,01073 = 693,4$$

$$P_{din4} = v \cdot G_i \cdot \zeta \cdot \eta_4 = 0.8889 \cdot 50000 \cdot 1,45 \cdot 0,004171 = 269,5$$

$$P_{din5} = v \cdot G_i \cdot \zeta \cdot \eta_5 = 0.8889 \cdot 50000 \cdot 1,45 \cdot 0,0004979 = 32,18$$

Розрахункове вітрове навантаження, що діє на i - у ділянку апарата при його власних коливаннях в напрямку горизонтальної дії вітру, Н:

$$P_1 = P_{ст1} + P_{дин1} = 1420 + 1887 = 3,289 \cdot 10^3$$

$$P_2 = P_{ст2} + P_{дин2} = 131 + 1250 = 2,543 \cdot 10^3$$

$$P_3 = P_{ст3} + P_{дин3} = 1190 + 693,4 = 1,899 \cdot 10^3$$

$$P_4 = P_{ст4} + P_{дин4} = 1099 + 269,5 = 1,368 \cdot 10^3$$

$$P_5 = P_{ст5} + P_{дин5} = 1099 + 32,23 = 1,131 \cdot 10^3$$

Розрахунковий згинаючий момент від дії вітрового навантаження в розрахунковому перерізі апарата на висоті x_0 , Н·м:

$$\begin{aligned} M_V &= P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = \\ &= 3289 + 2543 + 1899 + 1370 + 1131 = 1,023 \cdot 10^4 \end{aligned}$$

Перша умова виконання розрахунку на резонансне вихрове збудження:

$$\frac{H}{D} = \frac{10}{2,8} = 3,571$$

Умова $H/D > 10$ не виконується, отже розрахунок на резонансне вихрове збудження не потребується.

Висновок: Розрахунковий згинаючий момент від дії вітрового навантаження в розрахунковому перерізі апарата на висоті x_0 , $M_V = 10230$ Н·м.

5.7 Розрахунок колонного апарата на міцність

Метою розрахунку є перевірити стінки апарата колонного типу, що працює під дією внутрішнього надлишкового або зовнішнього тиску, повинні

бути перевірені на міцність при спільній дії тиску, розрахункових сил і розрахункових згинальних моментів від вагових, вітрових, сейсмічних та інших зовнішніх навантажень.

Розрахункова схема колонного апарата на міцність представлена на рисунку 5.10.

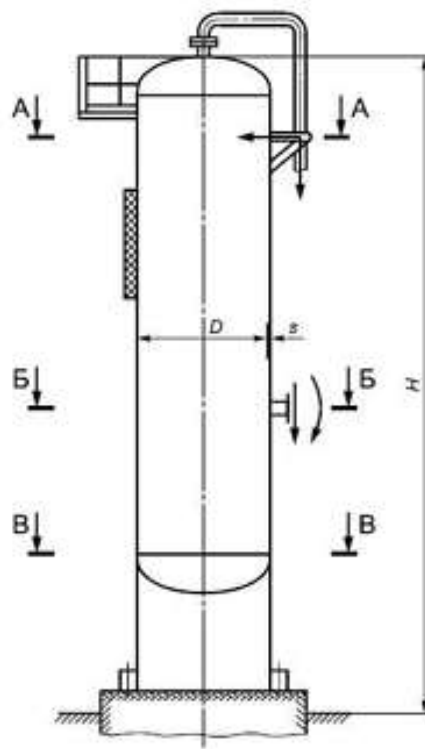


Рисунок 5.10 – Розрахункова схема колонного апарата на міцність

Вихідні дані для розрахунку:

Матеріал колони	08X18H10;
Внутрішній діаметр апарата, м, D	2,8;
Зовнішній розрахунковий тиск, МПа, P	0,1;
Довжина циліндричної обичайки, м, L	6,4;
Сума додатків до розрахункової товщини, м, C	$1 \cdot 10^{-3}$;
Виконавча товщина опорної обичайки, м, S	0,015;
Допустиме напруження матеріалу обичайки, МПа, $[\sigma]$	156;
Модуль пружності в умовах розтягу, МН, E	$2 \cdot 10^5$.
Розрахунок виконати для робочих умов.	
Розрахунок ведемо за [11]	

Осьова стискаюча сила F , Н:

$$F = G = 2,5 \cdot 10^5$$

Загальне мембранне меридіональне напруження в циліндричній обичайці колонного апарата, включаючи опору, в розрахунковому перерізі апарата на стороні, де згинаючий момент викликає розтяг σ_{x1} , Па:

$$\begin{aligned}\sigma_{x1} &= \frac{-p \cdot (D + S)}{4(S - C)} - \frac{F}{\pi D(S - C)} + \frac{4M}{\pi D^2(S - C)} = \\ &= \frac{-0,1 \cdot 10^6 \cdot (2,8 + 0,015)}{4(0,015 - 0,001)} - \frac{250000}{\pi \cdot 2,8 \cdot (0,015 - 0,001)} + \\ &\quad + \frac{4 \cdot 10232}{\pi \cdot 2,8^2 \cdot (0,015 - 0,001)} = -6,967 \cdot 10^6\end{aligned}$$

Загальне мембранне меридіональне напруження в циліндричній обичайці колонного апарата, включаючи опору, в розрахунковому перерізі апарата на стороні, де згинаючий момент викликає стиск σ_{x2} , Па:

$$\begin{aligned}\sigma_{x2} &= \frac{-p \cdot (D + S)}{4(S - C)} - \frac{F}{\pi D(S - C)} - \frac{4M}{\pi D^2(S - C)} = \\ &= \frac{-0,1 \cdot 10^6 \cdot (2,8 + 0,015)}{4(0,015 - 0,001)} - \frac{250000}{\pi \cdot 2,8 \cdot (0,015 - 0,001)} - \\ &\quad - \frac{4 \cdot 10232}{\pi \cdot 2,8^2 \cdot (0,015 - 0,001)} = -7,147 \cdot 10^6\end{aligned}$$

Загальні мембранні кільцеві напруження σ_y , Па:

$$\sigma_y = \frac{-p \cdot (D + S)}{2(S - C)} = \frac{-0,1 \cdot 10^6 \cdot (2,8 + 0,015)}{2(0,015 - 0,001)} = -1,005 \cdot 10^7$$

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

$$\begin{aligned}\sigma_{E1} &= \max(\sigma_{x1} - \sigma_y, \sigma_y, \sigma_{x1}) = \\ &= \max(-6966799 - (-10053571), -10053571, -6966799) = \\ &= 1,005 \cdot 10^7\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}\sigma_{E2} &= \max(\sigma_{x2} - \sigma_y, \sigma_y, \sigma_{x2}) = \\ &= \max(-7146846 - (-10053571), -10053571, -7146846) = \\ &= 1,005 \cdot 10^7\end{aligned}$$

Умова міцності апарата колонного типу при спільній дії навантажень, Па:

$$[\sigma] = 1,005 \cdot 10^7 < \sigma_{\text{доп}} = 1,2 \cdot \sigma \cdot \varphi = 1,685 \cdot 10^8$$

Де коефіцієнт $\varphi = 0,9$.

Умова міцності виконується.

Отже, прийнята товщина задовольняє умови міцності колонного апарата.

5.8 Розрахунок колонного апарата на стійкість

Метою розрахунку є визначити Розрахунковий згинаючий момент в розрахунковому перерізі колони на висоті x_0 від дії вітрового навантаження.

Розрахункова схема представлена на рисунку 5.11.

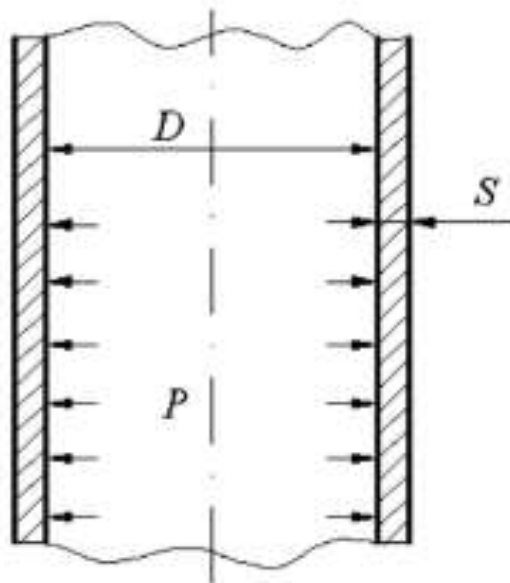


Рисунок 5.11 – Розрахункова схема колонного апарата на стійкість

Вихідні дані для розрахунку:

Матеріал колони	08X18H10
Внутрішній діаметр апарата, м, D	2,8
Зовнішній розрахунковий тиск, МПа, P	0,1
Довжина циліндричної обичайки, м, L	6,4
Висота кришки, м, h_d	0,7
Сума додатків до розрахункової товщини, м, C	$1 \cdot 10^{-3}$
Виконавча товщина опорної обичайки, м, S	0,015
Допустиме напруження матеріалу обичайки, МПа, $[\sigma]$	156
Модуль пружності в умовах розтягу, МН, E	$2 \cdot 10^5$
Розрахунок виконати для робочих умов.	
Розрахунок ведемо за [11]	

Розрахункова довжина обичайки корпусу колони, м:

$$l = l_0 + 2 \cdot h_d = 6,4 + 2 \cdot 0,7 = 7,8$$

Коефіцієнт B_1 :

$$B_1 = \min \left(1; 9,45 \cdot \frac{D}{l} \cdot \sqrt{\frac{D}{100(S - C)}} \right) =$$
$$= \min \left(1; 9,45 \cdot \frac{2,8}{7,8} \cdot \sqrt{\frac{2,8}{100(0,015 - 0,001)}} \right) = 1$$

Допустимий зовнішній тиск з умови міцності, МПа:

$$p_\sigma = \frac{2\sigma(S - C)}{D + S - C} = \frac{2 \cdot 156 \cdot (0,015 - 0,001)}{2,8 + 0,015 - 0,001} = 1,552$$

Допустимий зовнішній тиск з умови стійкості в границях пружності, МПа:

$$p_E = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{l} \cdot \left(\frac{100(S - C)}{D} \right)^{2,5} =$$

$$= \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot 200000}{2,4 \cdot 1} \cdot \frac{2,8}{7,8} \cdot \left(\frac{100(0,015 - 0,001)}{2,8} \right)^{2,5} = 0,11$$

Допустимий зовнішній тиск, МПа:

$$p' = \frac{p_{\sigma}}{\sqrt{1 + \left(\frac{p_{\sigma}}{p_E} \right)^2}} = \frac{1,552}{\sqrt{1 + \left(\frac{1,552}{0,11} \right)^2}} = 0,11$$

Допустима осьова стискуюча сила з умови міцності, Н:

$$F_{\sigma} = \pi(D + S - C)(S - C) \cdot \sigma =$$

$$3,14(2,8 + 0,015 - 0,001)(0,015 - 0,001) \cdot 156 = 19,31$$

Допустима осьова стискуюча сила з умови місцевої стійкості в границях пружності, МН:

$$F_{E1} = \frac{31 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot \frac{D}{2} \cdot \left(\frac{100(S - C)}{D} \right)^{2,5} =$$

$$= \frac{31 \cdot 10^{-5} \cdot 200000}{2,4} \cdot \frac{2,8}{2} \cdot \left(\frac{100(0,015 - 0,001)}{2,8} \right)^{2,5} = 35,8$$

Зведена розрахункова довжина, м:

$$l_{\text{пр}} = l = 7,8$$

Гнучкість:

$$\lambda_r = \frac{2,83 \cdot l_{\text{пр}}}{D + S - C} = \frac{2,83 \cdot 7,8}{2,8 + 0,015 - 0,001} = 7,844$$

Допустима осьова стискуюча сила з умови загальної стійкості в границях пружності, МН:

$$F_{E2} = \frac{\pi(D + S - C)(S - C) \cdot E}{n_y} \cdot \left(\frac{\pi}{\lambda_r} \right)^2 =$$

$$= \frac{\pi(2,8 + 0,015 - 0,001)(0,015 - 0,001) \cdot 0,2}{2,4} \cdot \left(\frac{\pi}{7,84} \right)^2 = 1,656 \cdot 10^3$$

Допустиме осьове стискуюче зусилля з умови стійкості, МН:

$$F_E = \min(F_{E1}; F_{E2}) = \min(35,8; 1,656 \cdot 10^3) = 35,8$$

Допустиме осьове стискуюче зусилля, МН:

$$F' = \frac{F_{\sigma}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{\sigma}}{F_E}\right)^2}} = \frac{19,31}{\sqrt{1 + \left(\frac{19,31}{35,8}\right)^2}} = 35,8$$

Допустимий згинаючий момент з умови міцності, МН·м:

$$M_{\sigma} = 0,25 \cdot F_{\sigma} \cdot D = 0,25 \cdot 19,31 \cdot 2,8 = 13,52$$

Допустимий згинаючий момент з умови стійкості в границях пружності, МН·м:

$$M_E = D \cdot \frac{F_{E1}}{3,5} = 2,8 \cdot \frac{35,8}{3,5} = 28,64$$

Допустимий згинаючий момент, МН·м:

$$M' = \frac{M_{\sigma}}{\sqrt{1 + \left(\frac{M_{\sigma}}{M_E}\right)^2}} = \frac{13,52}{\sqrt{1 + \left(\frac{13,52}{28,64}\right)^2}} = 12,22$$

Умова стійкості колони:

$$\frac{p}{p'} + \frac{F}{F'} + \frac{M}{M'} < 1$$

$$\frac{p}{p'} + \frac{F}{F'} + \frac{M}{M'} = \frac{0,1}{0,11} + \frac{0,25}{35,8} + \frac{1,56}{28,6} = 0,971$$

Висновок: Визначена виконавча товщина стінки обичайки $S = 0,015$ м з попередніх розрахунків забезпечує міцність апарата в умовах робочих навантажень. Значення умови стійкості 0,971 не перевищує допустимого значення 1.

5.9 Розрахунок опорної обичайки на міцність

Метою розрахунку є перевірка міцності товщини стінки опорної обичайки апарата.

Схема циліндричної обичайки корпусу апарата зображена на рисунку 5.12.

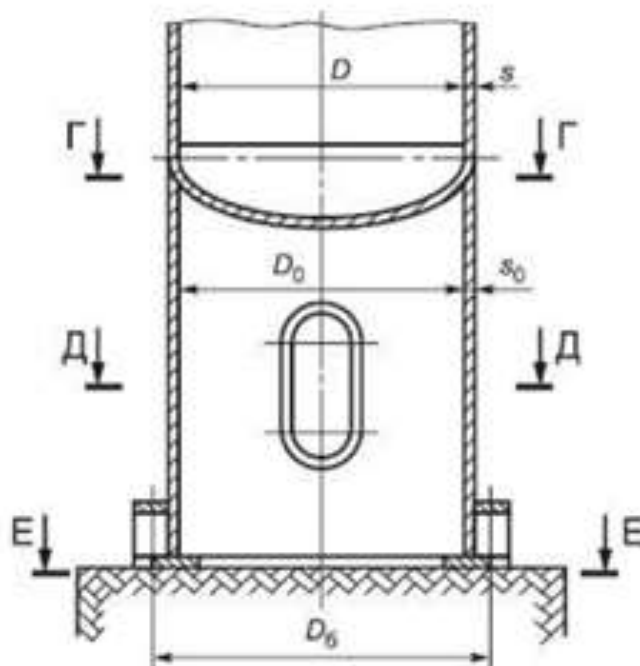


Рисунок 5.12 – Схема циліндричної обичайки корпусу апарата

Вихідні дані для розрахунку:

Циліндрична обичайка зі сталі марки	08X18H10;
Внутрішній діаметр опорної обичайки, м, D_0	2,8;
Розрахунковий тиск, МПа, p	0,1;
Сума додатків до розрахункової товщини, м, C_0	$1 \cdot 10^{-3}$;
Допустиме напруження матеріалу опорної обичайки, МПа, $[\sigma]$	156;
Осьова стискуюча сила, МН, F	0,25;
Згинаючий момент, МН, M	1,56;
Коефіцієнт міцності зварного шва, φ	0,9.
Розрахунок ведемо за [11]	

Загальне мембранне меридіональне напруження в опорній обичайці колонного апарата в розрахунковому перерізі де згинаючий момент викликає розтяг, МПа:

$$\sigma_{x1} = \frac{-p \cdot (D_0 + s_0)}{4 \cdot (s_0 - C_0)} - \frac{F}{\pi \cdot D_0 \cdot (s_0 - C_0)} + \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D_0^2 \cdot (s_0 - C_0)} =$$

$$= \frac{-0,1 \cdot (2,8 + 0,015)}{4 \cdot (0,015 - 0,001)} - \frac{0,25}{\pi \cdot 2,8 \cdot (0,015 - 0,001)} + \frac{4 \cdot 1,56}{\pi \cdot 2,8^2 \cdot (0,015 - 0,001)} = 11,04$$

Загальне мембранне меридіональне напруження в опорній обичайці колонного апарата в розрахунковому перерізі де згинаючий момент викликає стиск, МПа:

$$\sigma_{x2} = \frac{-p \cdot (D_0 + s_0)}{4 \cdot (s_0 - C_0)} - \frac{F}{\pi \cdot D_0 \cdot (s_0 - C_0)} - \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D_0^2 \cdot (s_0 - C_0)} =$$

$$= \frac{-0,1 \cdot (2,8 + 0,015)}{4 \cdot (0,015 - 0,001)} - \frac{0,25}{\pi \cdot 2,8 \cdot (0,015 - 0,001)} - \frac{4 \cdot 1,56}{\pi \cdot 2,8^2 \cdot (0,015 - 0,001)} = -25,15$$

Загальні мембранні кільцеві напруження, МПа:

$$\sigma_y = \frac{-p \cdot (D_0 + s_0)}{2 \cdot (s_0 - C_0)} \rightarrow \frac{-0,1 \cdot (2,8 + 0,015)}{2 \cdot (0,015 - 0,001)} = -10,05$$

Еквівалентні напруження в розрахунковому перерізі опорної обичайки на стороні, де згинальний момент викликає розтяг, МПа:

$$\sigma_{E1} = \max(|\sigma_{x1} - \sigma_y|, |\sigma_y|, |\sigma_{x1}|) =$$

$$= \max(|11,04 - (-10,05)|, |-10,05|, |11,04|) = 21,09$$

Еквівалентні напруження в розрахунковому перерізі опорної обичайки на стороні, де згинальний момент викликає стиск, МПа:

$$\sigma_{E2} = \max(|\sigma_{x2} - \sigma_y|, |\sigma_y|, |\sigma_{x2}|) =$$

$$= \max(|-25,15 - (-10,05)|, |-10,05|, |-25,15|) = 25,15$$

Умова міцності опорної обичайки при спільній дії навантажень:

$$\max(\sigma_{E1}, \sigma_{E2}) = 25,15 \leq 1,2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi = 168,5$$

Висновок: Прийнята товщина опорної обичайки $S = 0,015$ м забезпечує міцність апарата в умовах робочих навантажень. Найбільше еквівалентне напруження у розрахунковому перерізі $\max(\sigma_{E1}, \sigma_{E2}) = 25,15$ не перевищує допустимого значення $1,2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi = 168,5$.

5.10 Розрахунок штуцерів

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

Схема до розрахунку діаметра штуцерів представлена на рисунку 5.13.

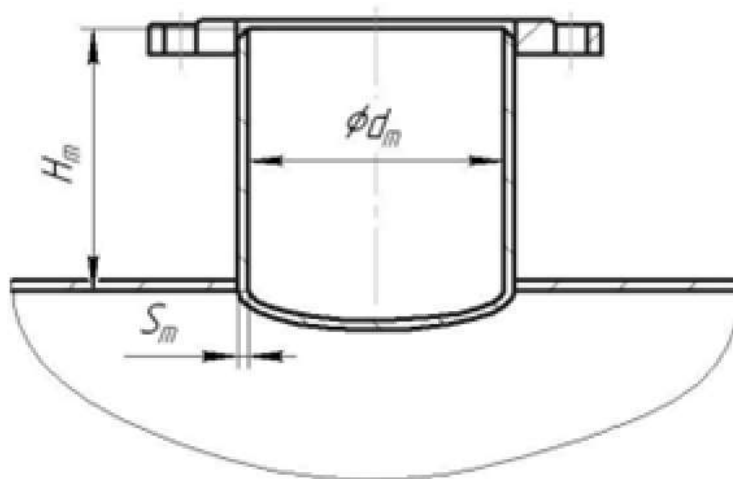


Рисунок 5.13 – Схема до розрахунку діаметра штуцерів

Вихідні дані для розрахунку:

Витрати суміші, L_F , кг/с	10;
Витрата дистилляту, L_D , кг/с	4,118;
Витрата кубової рідини, L_W , кг/с	5,882;
Густина вихідної суміші, $\rho_{L.F}$, кг/м ³	917,7;
Густина дистилляту, $\rho_{L.D}$, кг/м ³	788,75;
Густина кубового залишку, $\rho_{L.D}$, кг/м ³	954,8;
Густина парів дистилляту, $\rho_{G.B}$, кг/м ³	1,21;
Густина парів кубового залишку, $\rho_{G.H}$, кг/м ³	0,818.

Розрахунок проводимо за [9].

Формула для визначення діаметрів штуцерів:

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

Визначення діаметра штуцера для входу вихідної суміші:

Приймаємо $\omega_F = 2$ м/с.

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot L_F}{\pi \cdot \rho_{L.F} \cdot \omega_F}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10}{\pi \cdot 919,7 \cdot 2}} = 0,084 \text{ м}$$

Приймаємо стандартний штуцер: $d_1 = 100$ мм.

Визначення діаметра штуцера для виходу парів дистилляту:

Приймаємо $\omega_D = 20$ м/с.

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot L_D}{\pi \cdot \rho_{G.B} \cdot \omega_D}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4.118}{\pi \cdot 1.21 \cdot 20}} = 0,466 \text{ м}$$

Приймаємо стандартний штуцер: $d_2 = 500$ мм.

Визначення діаметра штуцера для подачі зрошення:

Приймаємо $\omega_x = 2$ м/с.

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_x}{\pi \cdot \rho_{L.D} \cdot \omega_x}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5.559}{\pi \cdot 788.8 \cdot 2}} = 0,067 \text{ м}$$

Де $G_x = R \cdot L_D = 1.35 \cdot 4.118 = 5.559$ кг/с.

Приймаємо стандартний штуцер: $d_3 = 80$ мм.

Визначення діаметра штуцера для виходу кубової рідини:

Приймаємо $\omega_W = 1$ м/с.

$$d_4 = \sqrt{\frac{4 \cdot L_W}{\pi \cdot \rho_{L.W} \cdot \omega_W}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5.882}{\pi \cdot 955.6 \cdot 1}} = 0.089 \text{ м}$$

Приймаємо стандартний штуцер: $d_4 = 100$ мм.

Визначення діаметра штуцера для повернення парів кубової рідини:

Приймаємо $\omega = 25$ м/с.

$$d_5 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\Pi}}{\pi \cdot \rho_{G.H} \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9.667}{\pi \cdot 0.8177 \cdot 25}} = 0,776 \text{ м}$$

Де $G_{\Pi} = G_x + L_D = 5.559 + 4.118 = 9.677$ кг/с.

Приймаємо стандартний штуцер: $d_5 = 800$ мм.

Висновок: за розрахунками було обрано штуцери, які забезпечать необхідні швидкості руху теплоносіїв. $d_1 = 100$; $d_2 = 500$; $d_3 = 80$; $d_4 = 100$; $d_5 = 800$, мм.

6 Рекомендації з монтажу і експлуатації

На основі джерела [12] можна сформулювати основні рекомендації щодо монтажу, експлуатації та ремонту ректифікаційних колон. Ректифікаційна колона є складним технологічним апаратом, тому її встановлення, налагодження та подальша експлуатація мають виконуватися кваліфікованим персоналом із дотриманням вимог безпеки, технологічної дисципліни та правил монтажу обладнання хімічних виробництв.

Перед встановленням колони необхідно належно підготувати фундамент, оскільки апарат має значну висоту та масу. Для забезпечення стійкості маса бетонного фундаменту зазвичай приймається більшою за масу колони у 1,5–2 рази. Перед монтажем на фундамент наносять осеві та висотні позначки, за якими проводять вивіряння проектного положення. Після монтажу перевіряють положення колони: відхилення головних осей не повинно перевищувати 20 мм, а відхилення від вертикалі допускається не більше 3 мм на кожен метр висоти, але не більше 35 мм на всю висоту апарата.

Корпус колони постачається окремими секціями – царгами, які з'єднуються між собою на монтажному майданчику. Під час складання фланцевих з'єднань необхідно забезпечити паралельність ущільнювальних поверхонь, оскільки від цього залежить герметичність стиків. Допустиме відхилення паралельності не повинно перевищувати 0,4 мм на 1 м діаметра. Внутрішні пристрої, зокрема тарілки, монтують до з'єднання царг, дотримуючись проектного кроку між ними. Відхилення між сусідніми тарілками не повинно перевищувати 3 мм.

Під час монтажу обов'язково враховують погодні умови. Роботи на висоті не дозволяється проводити при швидкості вітру понад 15 м/с, а для апаратів із великою парусністю, до яких належать колони, — понад 10 м/с.

Дуже важливим етапом є стропування колони, оскільки неправильне закріплення може призвести до деформації тонкостінної обичайки або

пошкодження штуцерів. Стропування виконують за штуцери. Забороняється закріплювати стропи за фланці, горловини люків та інші виступаючі частини апарата, не призначені для монтажних навантажень. Для підйому вертикальних апаратів доцільно застосовувати балансирні траверси, а сталеві канати підбирати з коефіцієнтом запасу міцності $k = 4 \dots 6$. Строп розташовувати вище центра маси апарата, що забезпечує стійке положення колони під час підйому.

Надійна експлуатація ректифікаційної колони залежить від стабільності технологічного режиму, справності приладів контролю та правильного пуску. Перед початком роботи на сировині колону перевіряють на воді та парі протягом 6–8 годин. За потреби проводять хімічну промивку. Під час пуску нагрівання корпусу має бути поступовим, не швидше приблизно 30 °C за годину, щоб уникнути температурних напружень.

У процесі експлуатації оператор повинен контролювати тиск у кубовій частині, температуру на живильній та верхній тарілках, рівень рідини, а також стан допоміжного обладнання. Колона має бути оснащена запобіжними клапанами, манометрами, термометрами та іншими засобами контролю і захисту. Для безпечних умов праці температура зовнішньої поверхні теплоізоляції не повинна перевищувати 45 °C.

Технічне обслуговування і ремонт ректифікаційних колон організовують за планово-запобіжним принципом. Під час щозмінного обслуговування проводять зовнішній огляд апарата, очищення доступних поверхонь, перевірку герметичності з'єднань і контроль роботи контрольно-вимірювальних приладів. Поточний ремонт передбачає заміну прокладок та очищення тарілок від забруднень. Капітальний ремонт виконують у разі значного зношування або після тривалої експлуатації. Він може включати заміну окремих царг, пакетів тарілок, оновлення теплоізоляції.

Підвищену увагу до стану ректифікаційних колон зазвичай приділяють після 7–8 років експлуатації, а повну ревізію тарілок доцільно проводити

приблизно один раз на три роки. Перед ремонтом колону необхідно зупинити, охолодити, звільнити від робочого середовища, промити та пропарити гострою парою. На всіх підведених комунікаціях встановлюють заглушки, щоб запобігти випадковому потраплянню речовин у апарат.

Роботи всередині колони належать до робіт підвищеної небезпеки, тому допускаються лише за письмовим дозволом і в присутності спостерігача. Перед входом обов'язково проводять аналіз повітря на наявність токсичних і вибухонебезпечних речовин. Робота всередині апарата при температурі понад 50 °C забороняється. Після завершення робіт колону піддають гідравлічному випробуванню на герметичність тиском, зазначеним у паспорті апарата. Лише після успішної перевірки апарат може бути знову введений в експлуатацію.

7 Рівень стандартизації та уніфікації

Використання стандартних та уніфікованих деталей у конструкції апаратів дає змогу зменшити витрати, полегшити проведення ремонтних робіт і скоротити час, необхідний для технічного обслуговування. Такі деталі є взаємозамінними та не потребують застосування спеціального обладнання під час монтажу.

Ступінь стандартизації й уніфікації виробу характеризує рівень використання в його конструкції стандартних та уніфікованих елементів. Оцінювання цього показника здійснюється за відповідними коефіцієнтами. Розрахунок виконано згідно з джерелом [13].

Коефіцієнт стандартизації:

$$K_c = \frac{n_c}{n_{\text{заг}}} = \frac{15}{32} = 0,47$$

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

Коефіцієнт уніфікації визначаємо із залежності:

$$K_y = \frac{n_c + n_{\text{ун}}}{n_{\text{заг}}} = \frac{15 + 12}{32} = 0,84$$

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

Висновок: розраховано коефіцієнти стандартизації та уніфікації, які становлять: $K_c = 0,47$; $K_y = 0,84$.

8 Техніко-економічне обґрунтування модернізації

8.1 Техніко-економічне обґрунтування доцільності вдосконалення

Масообмінні апарати, зокрема ректифікаційні колони є дуже важливою частиною промисловості, що дозволяють проводити ефективне розділення сумішей. Обраний модифікований апарат призначений для розділення суміші етанол-вода [14].

Модернізація апарату полягає у встановленні ковпачків, нижня частина яких відігнута під кутом до трубки. Внаслідок такої зміни газ виходячи з ковпачками більш рівномірно розподіляється по тарілці, а також не скупчується біля стінок, зменшуючи питому площу масообміну. Отже, покращення апарату полягає у підвищенні коефіцієнту корисної дії контактного пристрою.

Основні техніко-економічні показники, які характеризують устаткування, яке підлягає модернізації та нове аналогічне устаткування занесені до таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Техніко – економічні показники устаткування

№	Найменування показників	Одиниця виміру	Нове аналогічне устаткування	Устаткування, яке підлягає модернізації
1	Продуктивність колони за вихідною сумішшю	кг/с	8,5	10
2	Безвідмовність роботи	год	7000	7000
3	Показники безпеки	—	Відповідає вимогам безпеки	Відповідає вимогам безпеки
4	Патентно-правові показники	—	Серійна конструкція без суттєвих патентних переваг	Конструкція з удосконаленою формою ковпачків і тарілок, може мати патентну новизну

Продовження таблиці 8.1

5	Показники якості: уніфікація, стандартизація	—	Застосовують стандартні вузли та деталі	Застосовуються стандартні вузли, модернізації підлягають лише ковпачки
6	Ринкова ціна нового аналогічного устаткування	тис. грн	3600	3700
7	Залишкова вартість устаткування, яке підлягає модернізації	тис. грн	—	—

Методичні вказівки до виконання техніко-економічного обґрунтування знаходяться в джерелі [14].

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

Удосконалення апарата передбачає врахування обсягу та складності проектно-конструкторської документації, яка розробляється на стадії конструкторської підготовки. Модернізація наявного обладнання дає змогу зменшити або усунути наслідки фізичного зношування, подолати техніко-економічне старіння апарата, а також привести його основні технічні характеристики у відповідність до сучасних виробничих вимог.

Найбільш раціональним з економічної точки зору є виконання модернізації під час проведення капітального ремонту обладнання. Як правило, удосконалення апаратів, що використовуються у хімічній промисловості, забезпечує підвищення їх продуктивності приблизно на 10 – 18 %. При цьому витрати на модернізаційні роботи зазвичай становлять не більше 50 % від вартості нового апарата аналогічного призначення.

Оцінювання доцільності модернізації обладнання здійснюється шляхом визначення коефіцієнта ефективності витрат, який розраховується за формулою:

$$n_{pi} = 1 - \frac{M_i + S_{ei}}{K_{Hi}\alpha\beta + S_{ai}}, \quad (8.1)$$

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

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

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

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

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

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

З достатньою для розрахунків точністю, яка базується на практичних даних підприємств хімічного машинобудування, величини сукупних витрат на покращення устаткування можна розрахувати по формулі:

$$M_i = \Phi_{\text{іперв}}^{\text{мод}} \cdot K_i = 3700000 \cdot 0,04 = 148000 \text{ грн}$$

де $\Phi_{\text{іперв}}^{\text{мод}} = 3700000$ – первісна (відновлена) вартість устаткування, яке підлягає модернізації;

$K_i = 0,04$ – коефіцієнт витрат, величина якого залежить від виду і типу устаткування, яке підлягає модернізації, [14, табл. 3].

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

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

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

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

$$S_{ei} = q_{bi} \cdot \Phi_{i_{\text{перв}}}^{\text{мод}} - q_{bH} \cdot \Phi_{i_{\text{перв}}}^{\text{нов}} =$$

$$= 0,16 \cdot 3700000 - 0,14 \cdot 3600000 = 88000 \text{ грн},$$

де $q_{bi} = 0,16$ – коефіцієнт експлуатаційних (поточних) витрат устаткування, яке підлягає модернізації, [14, табл. 4].

$\Phi_{i_{\text{перв}}}^{\text{нов}} = 3600000$ грн – первісна вартість нового (аналогічного) устаткування;

$q_{bH} = 0,14$ – коефіцієнт експлуатаційних (поточних) витрат аналогічного нового устаткування, [14, табл. 4].

Коефіцієнт співвідношення тривалості ремонтного циклу модернізованого устаткування та аналогічного нового беремо з таблиці [14, табл. 5]:

$$\beta = 0,8.$$

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

$$\alpha = \frac{\Pi_i}{\Pi_{\text{нов}}} = \frac{10}{8,5} = 1,176,$$

де $\Pi_i = 10 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$ – продуктивність модернізованої ректифікаційної колони за вихідною сумішшю;

$\Pi_{\text{нов}} = 8,5 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$ – продуктивність ректифікаційної колони за вихідною сумішшю;

Коефіцієнт ефективності витрат за формулою (8.1):

$$n_{p_i} = 1 - \frac{M_i + S_{ei}}{K_{H_i} \alpha \beta + S_{a_i}} = 1 - \frac{148000 + 88000}{3600000 \cdot 1,176 \cdot 0,8 + 0} = 0,93$$

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

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

Висновок: Для визначення доцільності використовують таблицю [14, табл. 2].

Таблиця 8.2 – Значення коефіцієнту ефективності витрат n_{p_i} на модернізацію устаткування.

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

Висновок: Оскільки $n_{p_i} = 0,93 > 0$, то модернізація устаткування з економічної точки зору є доцільною.

Висновки

Дипломний проект освітньо-кваліфікаційного рівня “Бакалавр” на тему «Модернізація ректифікаційної колони установки виробництва харчового спирту» мав на меті модернізацію ректифікаційної колони, призначеної для розділення суміші етанол-вода та продуктивністю 10 кг/с.

Суть модернізації полягає змінні форми ковпачків тарілки ректифікаційної колони, що збільшує ККД процесу.

Робота над дипломним проектом включає детальний опис технологічного процесу, обґрунтування вибору конкретного типу холодильника та його конструктивного виконання. Було проведено порівняння ключових характеристик розробленої конструкції з наявними аналогами та виконано патентне дослідження.

Окремий розділ присвячено питанням охорони праці. Також здійснено розрахунок основних геометричних параметрів апарата і розроблено практичні рекомендації щодо його монтажу та експлуатації. Доцільність запропонованої модернізації підтверджено через відповідні техніко-економічні розрахунки, результати яких, разом з іншими дослідженнями, систематизовані в розрахунково-пояснювальній записці.

Графічна частина проекту виконана у програмі SolidWorks та включає в себе технологічну схему установки виробництва харчового спирту – А1, складальний кресленик ректифікаційної колони – А1, кресленик кришки – А1, кресленик обичайки – А1.

За темою дипломного проекту було опубліковано дві анотації тез у збірниках матеріалів всеукраїнських науково-практичних конференцій студентів, аспірантів і молодих учених.

Conclusions

The bachelor's qualification project on the topic "Modernization of the Distillation Column of the Food Alcohol Production Plant" was aimed at modernizing a rectification column designed for separating an ethanol–water mixture with a capacity of 10 kg/s.

The essence of the modernization consists in changing the shape of the caps of the rectification column trays, which increases the efficiency of the process.

The work on the bachelor's project includes a detailed description of the technological process, justification of the choice of a specific type of rectification column and its structural design. A comparison of the key characteristics of the developed design with existing analogues was carried out, and a patent study was performed.

A separate section is devoted to occupational safety issues. The main geometric parameters of the apparatus were also calculated, and practical recommendations for its installation and operation were developed. The feasibility of the proposed modernization was confirmed by the relevant technical and economic calculations, the results of which, together with other studies, are systematized in the calculation and explanatory note.

The graphic part of the project was completed in SolidWorks and includes the technological scheme of the food-grade alcohol production unit – A1, the assembly drawing of the rectification column – A1, the drawing of the cover – A1, and the drawing of the shell – A1.

Two abstracts on the topic of the bachelor's project were published in collections of materials from all-Ukrainian scientific and practical conferences of students, postgraduate students, and young scientists.

Перелік посилань

1. Руденко О. С. Розробка іновативних технологій харчового спирту, абсолютованого етанолу і біоетанолу / О. С. Руденко, М. В. Бондар // Scientific directions of research in educational activity : 6th International scientific and practical conference, February 14–17, 2023, Osaka, Japan. 2023. P. 522–526. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/41260> від 25.04.2026

2. Patent US2025171386A1 ENERGY-EFFICIENT DISTILLATION PROCESS WITH VARIATION OF INFLOW. Application US202418958187A·2024-11-25. Publication US2025171386A1·2025-05-29.

3. Patent UA160505U BUBBLING PLATE OF MASS EXCHANGE COLUMN. Application: UAU202501319U·2025-03-26. Publication: UA160505U·2025-09-10.

4. Patent CN119838254A Rectification device for green methanol production. Application: CN202510267759A·2025-03-07. Publication: CN119838254A·2025-04-18.

5. Patent UA162067U METHOD OF INSTALLING NOZZLE ELEMENTS IN A MASS TRANSFER DEVICE. Application: UAU202503331U·2025-07-09. Publication: UA162067U·2026-02-11.

6. Patent UA161056U Compact device for obtaining pure ethyl alcohol and distilled water. Application: UAU202501319U·2025-03-26 .Publication: UA160505U·2025-09-10.

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

8. Процеси та обладнання хімічної технології – 3. Масообмінні процеси [Електронний ресурс] : практикум : навч. посіб. для здобувачів ступеня

бакалавра за освіт. програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування обладнання хімічної інженерії» спец. 133 Галузеве машинобудування / Я. М. Корнієнко, С. С. Гайдай ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 254 с.

9. Perry's Chemical Engineers' Handbook, видання 9.

10. Конструювання і розрахунок елементів тонкостінних посудин та апаратів, які знаходяться під зовнішніми навантаженнями [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв» / І. А. Андреев; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 6,65 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 121 с.

11. 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 дані (1 файл: 4,53 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 112 с.

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

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

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

Додаток А Документація до патентного дослідження

РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ № ЛБ21.02.103.000 РП

Найменування теми: Ректифікаційна колона

Шифр теми: ЛБ21.02.103.000

Етап: Проектування ректифікаційної колони та її складових частин

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень

ЛБ21.02.103.000, 20.04.2026

Обґрунтування регламенту пошуку:

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

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

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

Ретроспективність. Термін дії патенту на винахід в Україні – 20 років, а регламент пошуку встановлюємо такий: 20.04.25-31.05.26 року.

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

Уніфікована десяткова класифікація УДК 663.5

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

Початок пошуку 20.04.2026

Закінчення пошуку 31.05.2026

ДОВІДКА ПРО ПОШУК № ЛБ21.02.103.000 ДП

Завдання на проведення патентних досліджень ЛБ21.02.103.000
20.04.2026

Етап: Проектування апарата та його складових частин

Номер, дата регламентного пошуку: № ЛБ21.02.103.000 РП, 20.04.2026

Початок пошуку 20.04.2026 Закінчення пошуку 31.05.2026

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

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Мета пошуку інформації	Держава пошуку	Класифікаційні індекси	Ретро-спективність пошуку	Джерела інформації
Ректифікаційна колона	Визначення патентно-здатності проектного апарата й тенденції розвитку цього напрямку в техніці	Україна, США, Велика Британія, Німеччина, Франція, Японія, Канада, Швейцарія, Китай, Фінляндія.	МПК; B01D 47/12, 47/14; 33/03, 53/18, 53/14, 47/06, F01N 3/04, 13/00/ УДК 665.612.2	20.04.2025 - 31.05.2026	Національні і зарубіжні офіційні бюлетені. Описи винаходів і корисних моделей.

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

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Держав а пошуку	Класифікац ійні індекси	Інформа ційна база, викорис тана під час пошуку	Бібліографічні данні першого та останнього джерела інформації	
				Патентна інформація	інша науково-технічна інформація
Ректифікаційна колона	Україна, США, Велика Британія, Китай	МПК; B01D 47/12, 47/14; 33/03, 53/18, 53/14, 47/06, F01N 3/04, 13/00/УДК 665.612.2	http://ep.espacenet.com/	Описи винаходів та корисних моделей патентів України, США, Китаю.	Я.М. Корнієнко Процеси та обладнання хімічної технології. / К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 300 с.

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

ОГД, його складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	Бібліографічні дані	Відомості щодо їхньої дії
ENERGY-EFFICIENT DISTILLATION PROCESS WITH VARIATION OF INFLOW	Patent US2025171386A1 C07C7/00; C07C7/04; G01J3/44; G01N30/02; Paul, Niklas; Rix, Armin Matthias; Six, Tanita Valérie; Steenweg, Tanja; Wessner, Lea; Oldemeyer, Martin. Application – 2024-11-25. Publication – 2025-05-29.	Діє
PLATE OF MASS EXCHANGE COLUMN	Patent UA160505U Мікульонок Ігор Олегович. Application – 2025-03-26. Publication – 2025-09-10.	Діє
Rectification device for green methanol productionApplication	Patent CN119838254A B01D3/18; B01D3/20; CHEN DONGLIANG; MENG WEINA; HE XIUFENG; JING JIAXUAN; HUO LI; WANG MENG; YANG XINGSHENG; TANG JIN; REN ZHUQING; Application – 2025-03-07. Publication – 2025-04-18	Діє
METHOD OF INSTALLING NOZZLE ELEMENTS IN A MASS TRANSFER DEVICE	Patent UA162067U Мікульонок Ігор Олегович. Application – 2025-07-09. Publication – 2026-02-11.	Діє

Compact device for obtaining pure ethyl alcohol and distilled water	Patent UA161056U Мелентьев Олег Борисович; Дубова Наталія В'ячеславівна; Кравченко Тамара Василівна; Кравченко Катерина Аркадіївна; Гвоздецька Юлія Василівна; Джога Ольга Валентинівна; Дубовик Віталій Васильович; Application – 2025-03-26 .Publication – 2025-09-10.	Діє
---	--	-----

Додаток Б Програмний розрахунок товщини стінки обичайки колони

Блок-схема до розрахунку зображено на рисунку Б.1

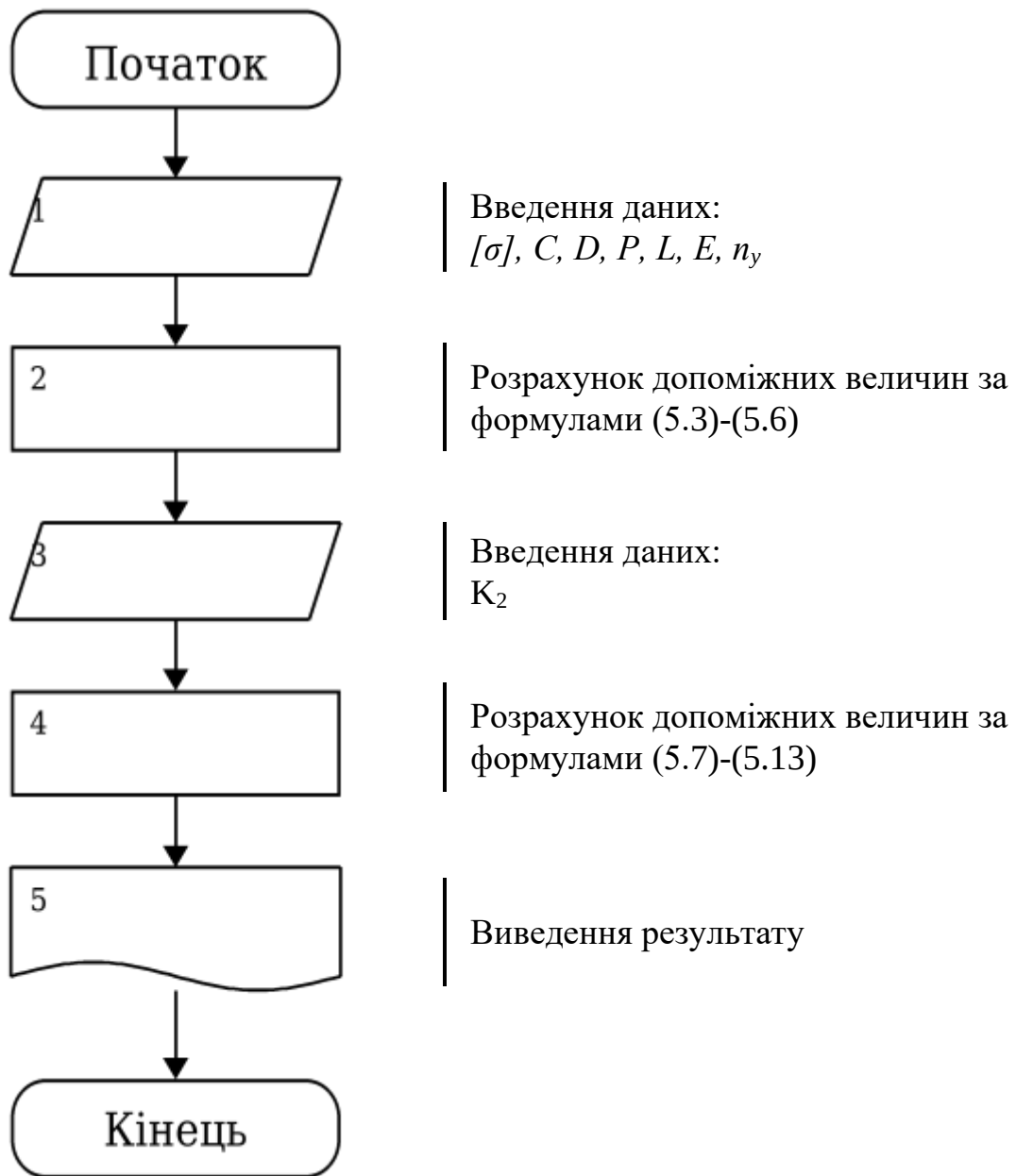


Рисунок Б.1 – Алгоритмічна схема комп'ютерного розрахунку товщини стінки циліндричної обичайки колони

Програма розрахунку товщини стінки обичайки колони:

Алгоритм розрахунку товщини циліндричної обичайки з умови міцності і стійкості

Вихідні дані

$$D = 2.8$$

$$H = 8$$

$$L = 6.4$$

$$C = 0.001$$

$$P = 0.1$$

$$[\sigma] = 156$$

$$E = 2 \cdot 10^5$$

$$n_y = 2.4$$

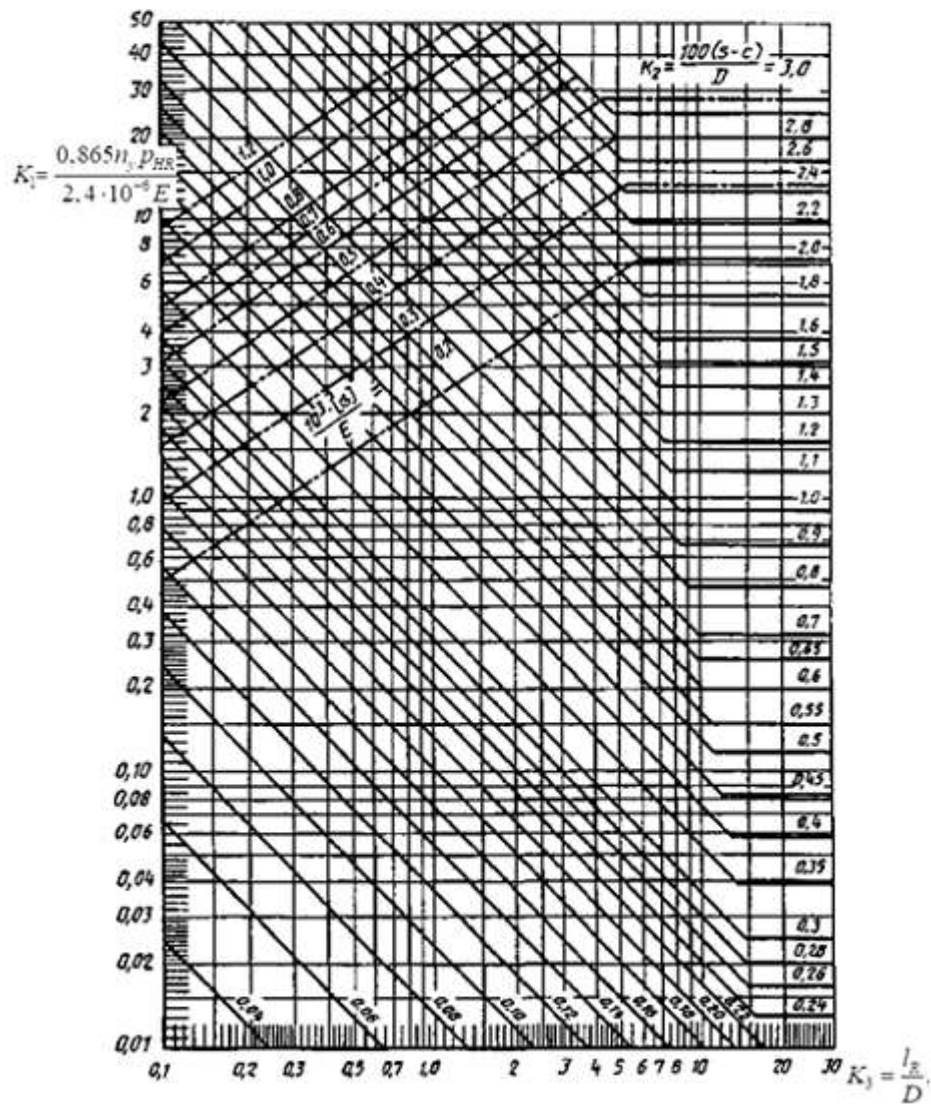
$$K_1 = \frac{0.865 \cdot n_y \cdot P}{2.4 \cdot 10^{-6} \cdot E} = \frac{0.865 \cdot 2.4 \cdot 0.1}{2.4 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5} = 0.433$$

$$l_H = \frac{D}{3} = \frac{2.8}{3} = 0.933$$

$$l_H = 1$$

$$L_R = L + l_H \cdot 2 = 8.4$$

$$K_3 = \frac{L_R}{D} = \frac{8.4}{2.8} = 3$$



$$K_2 = 0.495$$

$$S_R = \max\left(K_2 \cdot D \cdot 10^{-2}, \frac{1.1 \cdot P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] - P}\right) = \max\left(0.495 \cdot 2.8 \cdot 10^{-2}, \frac{1.1 \cdot 0.1 \cdot 2.8}{2 \cdot 156 - 0.1}\right) = 0.0139 = 0.014$$

$$S = S_R + C = 0.0139 + 0.001 = 0.0149 = 0.015$$

$$S = 0.015$$

$$[P_H]_{\sigma} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S - C)}{D + S - C} = \frac{2 \cdot 156 \cdot (0.015 - 0.001)}{2.8 + 0.015 - 0.001} = 1.55 = 1.55$$

$$B_1 = \min\left[1, 9.45 \cdot \frac{D}{L_R} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (S - C)}}\right] = \min\left[1, 9.45 \cdot \frac{2.8}{8.4} \cdot \sqrt{\frac{2.8}{100 \cdot (0.015 - 0.001)}}\right] = 1$$

$$[P_H]_E = \frac{20.8 \cdot 10^{-6} \cdot E \cdot D}{n_y \cdot B_1 \cdot L_R} \cdot \left[\frac{100 \cdot (S - C)}{D}\right]^{2.5} = \frac{20.8 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 2.8}{2.4 \cdot 8.4} \cdot \left[\frac{100 \cdot (0.015 - 0.001)}{2.8}\right]^{2.5}$$

$$[P_H] = \frac{[P_H]_{\sigma}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P_H]_{\sigma}}{[P_H]_E}\right)^2}} = \frac{1.55}{\sqrt{1 + \left(\frac{1.55}{0.102}\right)^2}} = 0.102 = 0.102$$

$$P < [P_H] = 0.1 < 0.102$$

Таблиця Б.1 – Перелік ідентифікаторів

Найменування величини	Позначення	Ідентифікатор	Розмірність
Допустиме напруження матеріалу	$[\sigma]$	$[\sigma]$	МПа
Внутрішній діаметр обичайки	D	D	м
Розрахунковий тиск	P	P	МПа
Розрахункова довжина обичайки	L	L	м
Сума додатків до розрахункової товщини	C	C	м
Модуль пружності в умовах розтягу	E	E	МПа
Коефіцієнт запасу стійкості	n_y	n_y	-
Безрозмірний коефіцієнт	K_1	K_1	-
Безрозмірний коефіцієнт	K_2	K_2	-
Безрозмірний коефіцієнт	K_3	K_3	-
Розрахункова довжина обичайки	l_R	L_R	м
Розрахункова довжина елемента що примикає до циліндричної обичайки	$l_{\text{ц}}$	$l_{\text{ц}}$	м
Розрахункова товщина стінки	S_R	S_R	м
Виконавча товщина стінки	S	S	м
Допустимий зовнішній тиск з умови міцності	$[p_H]_{\sigma}$	$[P_H]_{\sigma}$	МПа
Безрозмірний коефіцієнт	B_1	B_1	-
Допустимий зовнішній тиск з умов стійкості в границях пружності	$[P_H]_E$	$[P_H]_E$	МПа
Допустимий тиск	$[P_H]$	$[P_H]$	МПа

Результати розрахунки за програмою розрахунку товщини стінки обичайки колони наведено в таблиці Б.2

Таблиця Б.2 – Результати розрахунку

Найменування величини	Позначення	Числове значення	Розмірність
Виконавча товщина стінки	S	0,015	м
Допустимий тиск	$[P_H]$	0,102	МПа

Додаток В публікації автора

1. Косенко В. В. Модернізація ректифікаційної колони установки виробництва харчового спирту / Косенко В. В., Величко Т. Д. // «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів» XXXVII всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів і молодих вчених, (Київ, 16 грудня 2025 р.) : зб. тез доп. – К: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2025 р – С. 40-42.

2. Косенко В. В. Модернізація ректифікаційної колони установки виробництва харчового спирту / Косенко В. В., Величко Т. Д. // «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів» XXXVIII всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів і молодих вчених, (Київ, 16 грудня 2025 р.) : зб. тез доп. – К: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2025 р – С. 104-106.

МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ З ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВОГО СПИРТУ З РОЗРОБКОЮ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ

студент Величко Т. Д., асистент Косенко В.В.

Національний технічний університет України

“ Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського ”

АНОТАЦІЯ: В даній роботі наведено дослідження процесу ректифікації спирту. Обґрунтовано вибір ректифікаційної колони. Розглянуто актуальність і доцільність виготовлення висококонцентрованого спирту.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: Спирт, етанол, ректифікація, еспюраційна колона, спиртова колона.

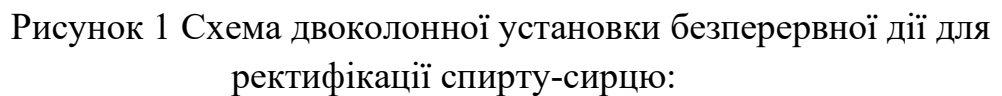
Етанол широко застосовується в промисловості, медицині та побуті. Його використовують як паливо (біоетанол), розчинник, антисептик і сировину для виробництва хімічних речовин. Також етанол має велике значення у фармакологічній та харчовій промисловості, зокрема при виготовленні лікарських засобів і алкогольних напоїв.

Існує 2 способи отримання етилового спирту: мікробіологічний за рахунок процесу бродіння та синтетичний за рахунок гідратації етилена.

Для виробництва харчового спирту використовується ферментація – біохімічна переробка органічних речовин за допомогою ферментів або мікроорганізмів. У спиртовому бродінні такими мікроорганізмами виступають дріжджі. Вони розкладають цукри, такі як глюкоза і фруктоза з утворенням етилового спирту та вуглекислого газу. У разі використання методу гідратації етилену виділяються домішки, що роблять непридатним спирт для вживання.

Для очищення спирту від води та інших домішок у бражці використовують ректифікацію – процес багаторазового випаровування суміші з масо- і теплообміном.

Схема ректифікаційної установки представлена на рисунку 1



Спирт-сирець(СС), попередньо змішаний з водою(В) через змішувач 1 подається до епюраційної колони 2 де з нього за допомогою пари(П) вилучається головна фракція що відводиться у дефлегматор 5 і конденсатор 4 епюраційної колони. Спирт-сирець, звільнений від головної фракції(ГФ) подається у спиртову колону де концентрується до необхідної концентрації а також позбавляється кінцевих домішок. Сивушна фракція збирається з тарілок до холодильників 9 та 10, де відводиться як сивушний спирт(ССп) або

піддається повторній переробці для вилучення етилового спирту в екстракторі 12 завдяки змішувачу 11. З низу спиртової колони відводиться лютерна вода (Л). Пара, а також залишки головних та кінцевих домішків у спиртовій колоні відводяться через дефлегматор 7 та конденсатор 6, де деяка частина з них повертається на верх епіюраційної колони 2 у вигляді зрошення. Ректифікований спирт(СР) відбирають з верхніх тарілок спиртової колони у холодильник 8. [1]

Ректифікація якісного харчового спирту є ключовим для виробництва високоалкогольних напоїв. Від ефективності цього процесу залежить якість кінцевого продукту, економічні показники виробництва та екологічна безпека підприємства. Саме тому дослідження та оптимізація процесу ректифікації є актуальним на сьогоднішній день.

Завдання на дипломне проектування – пошук сучасних конструкцій та інноваційних рішень для модернізації устаткування та підвищення якості продукту та продуктивності ректифікаційної колони.

Використані джерела:

1. Циганков П.С., Циганков С.П. Руководство по ректификации спирта. Пищепромиздат, 2001. – 400 с.
2. Технологія спирту. В.О.Маринченко, В.А.Домарецький, П.Л.Шиян, В.М.Швець, П.С.Циганков, І.Д.Жолнер. /Під ред. проф. В.О.Маринченка. – Вінниця: “Поділля-2000”, 2003. – 496 с.

**МОДЕРНІЗАЦІЯ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ УСТАНОВКИ
ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВОГО СПИРТУ**

студент Величко Т. Д., асистент Косенко В.В.

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

АНОТАЦІЯ: В даній роботі досліджено та проаналізовано патент що модернізує ковпачок а також виявлено переваги та недоліки конструкції та запропоновано власний варіант що частково нівелює недоліки попереднього.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: Ковпачок, тарілка, ректифікаційна колона, масообмін, теплообмін.

У ректифікаційних колонах пар проходячи вгору барботує через шар рідини здійснюючи тепло та масообмін. У ковпачкових ректифікаційних колонах це відбувається через ковпачки, від них залежить те наскільки рівномірно газ буде потрапляти та як буде взаємодіяти з рідкою фазою. Тому дослідження форми та розмірів ковпачка є актуальними, адже вони сильно впливають на процес розділення сумішей у ректифікаційній колоні.

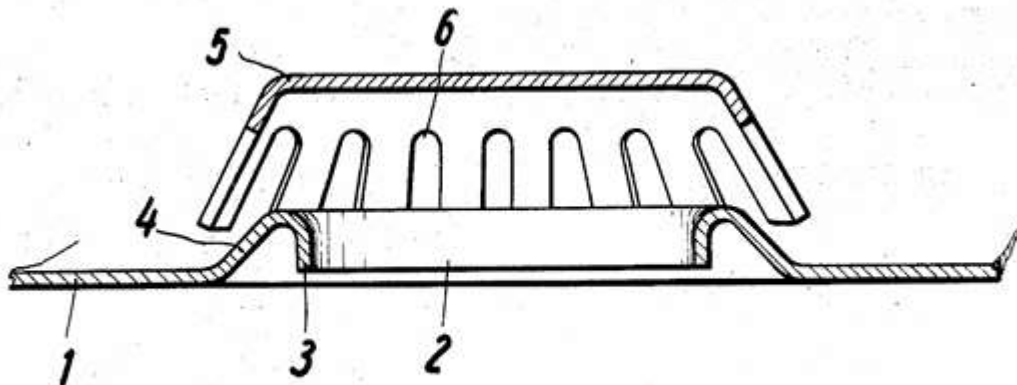


Рисунок 1 — Конструкція ковпачкової тарілки за патентом US3794305 [1]

У запропонованій конструкції (рис. 1) отвір у тарілці має спеціально відігнуту догори периферійну крайку, яка утворює напрямний канал між полотном тарілки та нижньою частиною ковпачка. Основна ідея модернізації полягає в тому, що зміна форм посадочного отвору дозволяє усунути

локальні зони нерівномірного проходження пари та зменшити втрати тиску на тарілці. У результаті знижується ймовірність утворення застійних ділянок рідини, зменшується бризковинос і підвищується стабільність роботи колони при змінних режимах навантаження. Особливістю цього рішення є те, що вдосконалення досягається без суттєвої зміни всієї конструкції тарілки, оскільки змінюється лише форма отвору та спосіб посадки ковпачка. [1]

Переваги конструкції:

- зменшення бризковиносу рідини на верхні тарілки;
- підвищення ефективності масообміну;
- зниження локального гідравлічного опору;

Недоліки конструкції:

- складніше виготовлення через необхідність формування відігнутої крайки;
- підвищення вартості виробництва;

Модернізація:

Формування відігнутої крайки на тарілці хоч і дає більш рівномірний потік газу проте потребує складних операцій та підвищує вартість виготовлення. Проте ковпачок тарілки має свої певні переваги що і послугували ідеєю модернізації.

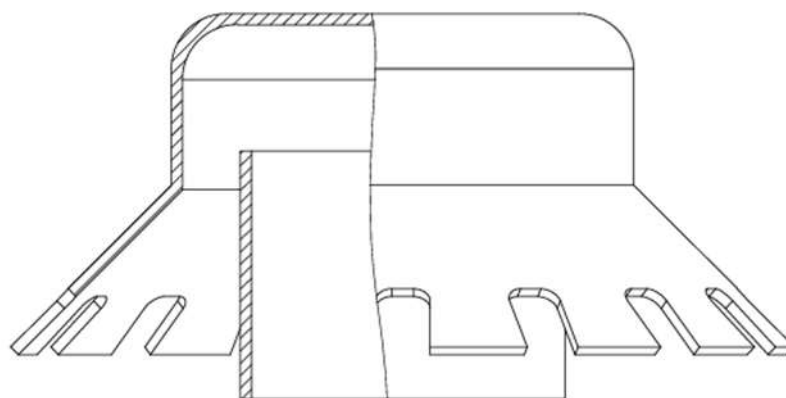


Рисунок 2 — Запропонований варіант модернізації ковпачка з відігнутою крайкою

У цьому варіанті (рис. 2) нижня частина ковпачка відігнута в сторону, що означає що газ який виходитиме з під ковпачка буде менше тертись об ковпачок піднімаючись вгору, як це відбувається у звичайному вертикальному ковпачку, що означає що газова фаза буде мати більшу площу контакту з рідкою фазою що у свою чергу покращить тепло та масообмін.

Переваги конструкції:

- підвищення ефективності масообміну;

Недоліки конструкції:

- складніше виготовлення
- підвищення вартості виробництва;

Використані джерела:

1. Patent US3794305. URL: <https://www.freepatentsonline.com/3794305.html>
2. Циганков П.С., Циганков С.П. Руководство по ректификации спирта. Пищепромиздат, 2001. – 400 с.
3. Технологія спирту. В.О.Маринченко, В.А.Домарецький, П.Л.Шиян, В.М.Швець, П.С.Циганков, І.Д.Жолнер. /Під ред. проф. В.О.Маринченка. – Вінниця: “Поділля-2000”, 2003. – 496 с.



US 20250171386A1

(19) **United States**

(12) **Patent Application Publication**

Paul et al.

(10) Pub. No.: **US 2025/0171386 A1**

(43) Pub. Date: **May 29, 2025**

(54) **ENERGY-EFFICIENT DISTILLATION
PROCESS WITH VARIATION OF INFLOW**

(71) Applicant: **Evonik Oxeno GmbH & Co. KG,**
Marl (DE)

(72) Inventors: **Niklas Paul, Marl (DE); Armin
Matthias Rix, Marl (DE); Tanja
Valerie Six, Dortmund (DE); Tanja
Steenweg, Dortmund (DE); Lea
Wessner, Dortmund (DE); Martin
Oldemeyer, Haltern am See (DE)**

(73) Assignee: **Evonik Oxeno GmbH & Co. KG,**
Marl (DE)

(21) Appl. No.: **18/958,187**

(22) Filed: **Nov. 25, 2024**

(30) **Foreign Application Priority Data**

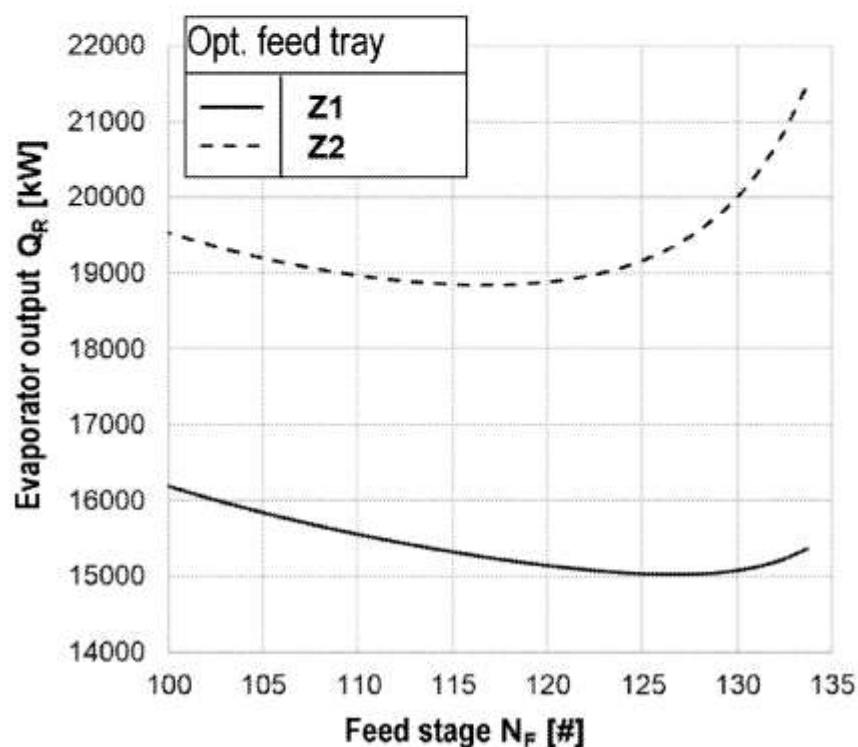
Nov. 29, 2023 (EP) 23213043.5

Publication Classification

(51) **Int. CL**
C07C 7/04 (2006.01)
C07C 7/00 (2006.01)
G01J 3/44 (2006.01)
G01N 30/02 (2006.01)
(52) **U.S. CL**
CPC **C07C 7/04** (2013.01); **C07C 7/005**
(2013.01); **G01J 3/44** (2013.01); **G01N 30/02**
(2013.01); **G01N 2030/025** (2013.01)

(57) **ABSTRACT**

A process for distilling a raffinate 2 stream as feed stream in at least two distillation columns DK1 and DK2 has two different inlets for the feed stream in at least the distillation column DK1. It is a feature of the process that the feed stream is analysed for its composition before being introduced; and one of the at least two inlets for the feeding of the feed stream is chosen depending on the composition of the feed stream.





НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

УКРАЇНА

(19) UA (11) 160505 (13) U
(51) МПК
B01D 3/18 (2006.01)

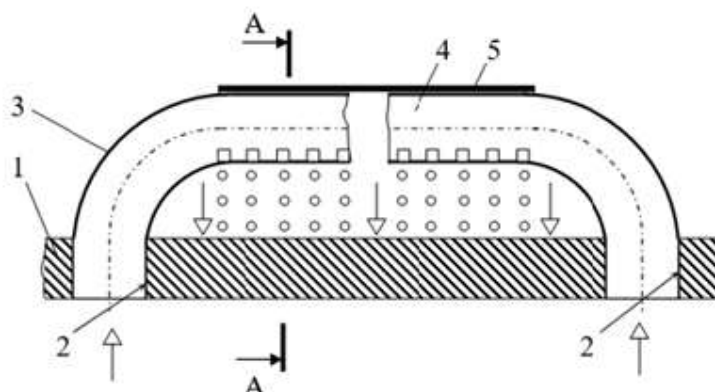
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2025 01319	(72) Винахідник(и): Мікульонок Ігор Олегович (UA)
(22) Дата подання заявки: 26.03.2025	(73) Володілець (володільці): НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО", просп. Берестейський, буд. 37, м. Київ, 03056 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 11.09.2025	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 10.09.2025, Бюл.№ 37	

(54) БАРБОТАЖНА ТАРІЛКА МАСООБМІННОЇ КОЛОНИ

(57) Реферат:

Барботажна тарілка масообмінної колони містить горизонтальне полотно з отворами та П-подібними трубками з центральними горизонтальними перфорованими ділянками, зазначені трубки розташовані над горизонтальним полотном і закріплені своїми кінцями в його отворах. Центральні горизонтальні перфоровані ділянки щонайменше частини П-подібних трубок перекрито щільно встановленими на них пружними накладками, кожен з яких виконано у вигляді трубки з видаленим по всій її довжині фрагментом, ширина якого не перевищує діаметр зовнішньої поверхні центральної горизонтальної перфорованої ділянки відповідної П-подібної трубки.



Фіг. 1

UA 160505 U



(21) 申请号 202510267759.4

(22) 申请日 2025.03.07

(71) 申请人 上海电气集团国控环球工程有限公司

地址 030000 山西省太原市万柏林区后王街东一巷3号

(72) 发明人 陈东良 孟维娜 何秀凤 荆佳宜
霍丽 王猛 杨兴盛 汤晋
任竹青

(74) 专利代理机构 山西星辉知识产权代理事务所(普通合伙) 14132

专利代理师 李研敏

(51) Int. Cl.

B01D 3/20 (2006.01)

B01D 3/18 (2006.01)

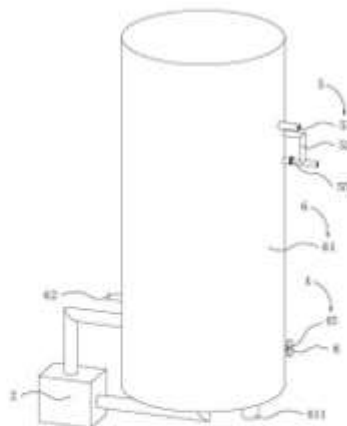
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

一种用于绿色甲醇生产的精馏装置

(57) 摘要

本申请涉及一种用于绿色甲醇生产的精馏装置,涉及甲醇精馏的技术领域,其包括精馏罐、再沸器、气液传质组件、调节组件、冷凝组件以及预热组件。再沸器设置在精馏罐的底部,为精馏过程提供气体,气液传质组件安装在精馏罐内,气液传质组件用于使甲醇气液两相充分接触实现物质交换,调节组件安装在气液传质组件上,调节组件用于调整气液传质组件的运行状态,冷凝组件安装在精馏罐上,冷凝组件用于将高温甲醇蒸汽冷却凝结为液体,预热组件安装在精馏罐上,预热组件用于为精馏的原料预热。本申请具有在提高精馏效率的同时降低能源消耗的效果。



(19) U (11) 162067 (13) UA

(98) просп. Берестейський, 37, м. Київ, 03056
(85) null
(74) null
(45) [2026-02-11]
(43) null
(24) 2026-02-12
(22) 2025-07-09
(12) Патент на корисну модель
(21) u202503331
(46) 2026-02-11

(86)

(30)

(54) СПОСІБ УКЛАДАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ НАСАДКИ В МАСООБМІННОМУ АПАРАТІ METHOD OF INSTALLING NOZZLE ELEMENTS IN A MASS TRANSFER DEVICE

(56)

(71) НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО" UA 02070921 NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF UKRAINE "IGOR SIKORSKY KYIV POLYTECHNIC INSTITUTE" UA 02070921

(72) Мікульєнок Ігор Олександрович UA Mikulonenko Ihor Oleksandrovych UA

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО" UA 02070921 NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF UKRAINE "IGOR SIKORSKY KYIV POLYTECHNIC INSTITUTE" UA 02070921

(19) U (11) 161056 (13) UA

(98) ул. Садова, 2, м. Умань, Черкаська обл., 20300
(85) null
(74) Мелентьев Олег Борисович, (UA)
(45) [2025-11-05]
(43) null
(24) 2025-11-06
(22) 2025-03-04
(12) Патент на корисну модель
(21) u202500941
(46) 2025-11-05

(86)

(30)

(54) МАЛОГАБАРИТНИЙ АПАРАТ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ ЧИСТОГО ЕТИЛОВОГО СПИРТУ І ДИСТИЛЬОВАНОЇ ВОДИ Compact device for obtaining pure ethyl alcohol and distilled water

(56)

(71) УМАНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ПАВЛА ТИЧІНИ UA 00493787 PAVLO TYCHYNA UMAN STATE PEDAGOGICAL UNIVERSITY UA 00493787

(72) Мелентьев Олег Борисович UA Melentiev Oleh Borysovych UA Дубова Наталія Віячеславівна UA Dubova Nataliia Viacheslavivna UA Кравченко Тамара Василівна UA Kravchenko Tamara Vasylivna UA Кравченко Катерина Аркадіївна UA Kravchenko Kateryna Arkadiivna UA Гвоздецька Юлія Василівна UA Hvozdetzka Yuliia Vasylivna UA Дзюга Ольга Валентинівна UA Dzhoha Olha Valentynivna UA Дубовик Віталій Васильович UA Dubovyk Vitalii Vasylovych UA

(73) УМАНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ПАВЛА ТИЧІНИ UA 00493787 PAVLO TYCHYNA UMAN STATE PEDAGOGICAL UNIVERSITY UA 00493787