

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

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

«На правах рукопису»
УДК 661.721.4

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО
Завідувач кафедри МАХНВ
_____ Андрій СТЕПАНЮК
“ _____ ” _____ 2025 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра**

**за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг та комп’ютерно-інтегровані
технології проектування інноваційного галузевого обладнання»
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
на тему: «Модернізація установки виробництва метанолу з
розробкою ректифікаційної колони та парогенератора»**

Виконав:

студент 2 курсу, групи ЛМ-41мп
Антон ТРУНІН

Науковий керівник:

доцент, к.т.н. Андрій СТЕПАНЮК

Консультанти: охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

ст. викл., к.т.н. Андрій КОВТУН

розробка стартап-проекту

доцент, к.е.н. Наталія ЮДІНА

автоматичний контроль і керування процесом

професор, д.т.н. Олексій ЖУЧЕНКО

комп’ютерне моделювання процесів взаємодії

асистент Микита БИШКО

Рецензент: _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім’я та прізвище)

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

Студент _____ Антон ТРУНІН

Київ – 2025 року

**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 – другий (магістерський)

Спеціальність: 133 «Галузеве машинобудування»

Освітньо-професійна програма: «Інжиніринг та комп’ютерно–інтегровані технології проєктування інноваційного галузевого обладнання»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАХНВ

_____ Андрій СТЕПАНЮК

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Труніну Антону Олексійовичу

1. Тема дисертації: «Модернізація установки виробництва метанолу з розробкою ректифікаційної колони та парогенератора»

науковий керівник дисертації: доцент, к.т.н. Степанюк Андрій Романович.

затверджені наказом по університету від “___” _____ 2025 р. № _____

2. Строк подання студентом дисертації: «___» _____ 2025 р.

3. Вихідні дані: спроектувати ректифікаційну колону та парогенератор для виробництва метанолу. Продуктивність ректифікаційної колони 12 кг/с, концентрація етанолу на вході в колону 50%, продуктивність за етанолом 6 кг/с; температури етанолу: на вході в теплообмінник – 78 °С, на виході – 20 °С.

4. Перелік завдань, які потрібно розробити:

а) основна частина: обґрунтувати вибір та модернізацію конструкцій ректифікаційної колони й парогенератора для установки виробництва метанолу, виконати патентний пошук і розрахунки працездатності, енергоефективності та міцності основних елементів;

б) маркетинг стартап–проектів: розробити стартап–проект модернізованої установки виробництва метанолу з акцентом на вдосконалену ректифікаційну колону та парогенератор, оцінити економічну доцільність і конкурентоспроможність;

в) охорона праці: проаналізувати шкідливі та небезпечні фактори під час експлуатації ректифікаційної колони, парогенератора та теплообмінників, запропонувати заходи захисту й основні правила безпечної роботи установки та дій персоналу в аварійних ситуаціях;

г) частина автоматичного керування: розробити та обґрунтувати схему автоматизованого керування ректифікаційною колоною та парогенератором, скласти специфікацію засобів вимірювання, регулювання, сигналізації й захисту;

д) комп'ютерне моделювання процесів взаємодії: виконати комп'ютерне моделювання тепло- та масообмінних процесів у ректифікаційній колоні та парогенераторі, провести симуляційний експеримент для підтвердження ефективності запропонованої модернізації.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): технологічна схема установки – А1; автоматизована схема установки – А1; складальні креслення: ректифікаційна колона – 1 формат А1, парогенератор – 1 формат А1, опорна обичайка – 1 формат А2, царга – 1 формат А1, корпус парогенератора – 1 формат А1, трубний пучок – 1 формат А1, обичайка парогенератора – 1 формат А1; результати комп'ютерного моделювання процесів – 2 формати А1.

6. Перелік публікацій: три тези доповідей за темою магістерської дисертації.

7. Консультанти розділів проєкту:

Розділ	Ім'я ПРИЗВИЩЕ консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Андрій КОВТУН		
Розробка стартап-проєкту	Наталія ЮДІНА		
Автоматичний контроль і керування процесом	Олексій ЖУЧЕНКО		
Комп'ютерне моделювання процесів взаємодії	Микита БИШКО		

8. Дата видачі завдання 01 вересня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	2	3	4
1	Переддипломна практика. Узгодження теми, вихідних даних, визначення джерел інформації. Добір матеріалів. Складання звіту з практики	01.09.2025	
2	Патентне дослідження. Формування ідеї модернізації. Створення стартап-проєкту	11.09.2025	
3	Обґрунтування актуальності проєкту. Опис установки. Схема установки. Вибір і опис конструкцій сушарки, теплообмінника та циклону. Технічна характеристика установки, апаратів	01.10.2025	
4	Виконання моделювання запропонованої модернізації	10.10.2025	
5	Параметричні розрахунки: визначення основних розмірів апаратів. Розрахунок гідравлічного опору апаратів	16.10.2025	
6	Розробка складальних креслень апаратів і їх складальних одиниць. Добір конструктивних параметрів конструктивних елементів апаратів	22.10.2025	
7	Розрахунки на міцність. Розробка програм і супроводжуючих документів. Виконання схем	29.10.2025	
8	Консультації відповідно до графіку з питань охорони праці, економіки, технології машинобудування, автоматизації	05.11.2025	
9	Уточнення графічної частини проєкту і специфікацій	25.11.2025	
10	Оформлення пояснювальної записки. Перевірка відповідності проєкту діючим нормам за змістом і оформленням. Підготовка до захисту. Складання плану викладення доповіді, окремих питань	01.12.2025	
11	Попередній захист проєкту	8.12.2025	
12	Корегування проєкту за результатами попереднього захисту. Отримання рецензії, відзиву. Підготовка до захисту	10.12.2025	

Магістрант

Антон ТРУНІН

Керівник

Андрій СТЕПАНЮК

РЕФЕРАТ

УДК 661.721.4

Магістерська дисертація на тему «Модернізація установки виробництва метанолу з розробкою ректифікаційної колони та парогенератора» /КПІ ім. Ігоря Сікорського; Керівник Андрій Степанюк. – Київ, 2025. – 198 с.: іл. Викон. – Трунін Антон – Бібліогр.: с. 141.

Звіт складається із вступу, 8 розділів, висновків, переліку посилань із 78 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 145 с. основного тексту, 37 рисунків, 35 таблиць і 6 додатків.

Мета дисертації – модернізація ректифікаційної колони та парогенератора для установки виробництва метанолу.

Записка містить опис технологічного процесу виробництва метанолу, вибір типів ректифікаційної колони та парогенератора і їх місце в технологічній схемі, технічну характеристику апаратів, обґрунтування вибору конструкцій апаратів, що проектуються і принцип дії їх основних складальних одиниць та деталей, порівняння основних показників розробленої конструкції з аналогами, патентне дослідження конструкцій апаратів. Виконано модернізацію ректифікаційної колони та математичне моделювання запропонованої модернізації. Наведено заходи, щодо охорони праці, рекомендації з монтажу та експлуатації. Проведено модернізацію установки та визначено очікувані техніко-економічні показники від впровадження модернізації: збільшення годинної та річної продуктивності, зменшення енергоспоживання та підвищення стабільності роботи колони. Зазначена модернізація може бути рекомендована для впровадження у виробництво. Визначено рівень стандартизації та уніфікації. Розроблено автоматичну схему керуванням процесом.

МЕТАНОЛ, РЕКТИФІКАЦІЙНА КОЛОНА, ПАРОГЕНЕРАТОР, МОДЕРНІЗАЦІЯ.

ABSTRACT

UDC 661.721.4

Master's thesis on the topic "Modernization of methanol production facility with development of rectification column and steam generator" / Igor Sikorski Kyiv Polytechnic Institute; Supervisor Andriy Stepanyuk. – Kyiv, 2025. – 198 p.: ill. Executor – Trunin Anton – Bibliography: p. 141.

The report consists of an introduction, 8 chapters, conclusions, a list of references with 78 titles. The total volume of the work is 145 p. of the main text, 37 figures, 35 tables and 6 appendices.

The purpose of the dissertation is the modernization of a distillation column and a steam generator for a methanol production plant.

The note contains a description of the technological process of methanol production, the choice of types of distillation column and steam generator and their place in the technological scheme, technical characteristics of the devices, justification for the choice of designs of the designed devices and the principle of operation of their main assembly units and parts, comparison of the main indicators of the developed design with analogues, patent research of device designs. The distillation column has been modernized and mathematical modeling of the proposed modernization has been performed. Occupational safety measures, recommendations for installation and operation have been provided. The installation has been modernized and the expected technical and economic indicators from the implementation of the modernization have been determined: an increase in hourly and annual productivity, a decrease in energy consumption and an increase in the stability of the column operation. The specified modernization can be recommended for implementation in production. The level of standardization and unification has been determined. An automatic process control scheme has been developed.

METHANOL, RECTIFICATION COLUMN, STEAM GENERATOR, MODERNIZATION.

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 МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності: 133 Галузеве машинобудування

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

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

ЗМІСТ

Вступ.....	10
1. Призначення та область використання.....	11
1.1. Опис технологічного процесу.....	11
1.2. Вибір типу установки, апаратів, їх місце в технологічній схемі	13
2. Технічні характеристики основних апаратів установки	20
3. Опис та обґрунтування вибраної конструкції апаратів.....	21
3.1. Конструкція і принцип дії апаратів, основних складальних одиниць та деталей.....	21
3.2. Порівняння основних показників розроблених конструкцій апаратів з аналогами	23
3.3. Вибір матеріалів елементів конструкцій апаратів.....	26
3.4. Патентний огляд конструкцій основного обладнання установки	27
4. Розрахунки, що підтверджують працездатність конструкцій	44
4.1. Параметричний розрахунок колони.....	44
4.2. Конструктивний розрахунок тарілок	52
4.3. Тепловий розрахунок колони	55
4.4. Гідравлічний розрахунок колони	56
4.5. Параметричний розрахунок парогенератора	58
4.6. Конструктивний розрахунок парогенератора	64
4.7. Розрахунок еліптичного днища колони.....	66
4.8. Розрахунок штуцерів колони	69
4.9. Розрахунок корпусу колони	71
4.10. Розрахунок опори колони	73
4.11. Розрахунок фланців колони	75
4.12. Розрахунок вітрового навантаження колони	82
5. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	91

Відповідальна організація КПІ ім. Ігоря Сікорського	Технічне узгодження Новохат	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа Кафедра МАХНВ	Розробник документа Трунін	Назва, додаткова назва Модернізація установки виробництва метанолу з розробкою ректифікаційної колони та парогенератора	ЛМ4 1МП.14.100.001			
	Документ затверджено Степанюк		Інд. змін	Дата видання	Мова UA	Аркуш 8

5.1. Технічні рішення щодо безпечної експлуатації обладнання.....	92
5.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	95
5.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях	102
6. Рекомендації, щодо монтажу та експлуатації апаратів установки виробництва метанолу	106
7. Рівень стандартизації та уніфікації	109
8. Стартап-проект	110
8.1. Опис ідеї проекту	110
8.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	113
8.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	114
8.4. Розроблення ринкової стратегії проекту	126
8.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	130
8.6. Висновки	136
Висновок	137
Conclusion.....	139
Перелік посилань.....	141
Додаток А Автоматична схема керування установкою	152
А.1. Опис технологічної схеми виробництва метанолу.....	152
А.2. Аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації	154
А.3. Опис розробленої схеми автоматизації	155
А.4. Висновок	157
Додаток Б Документація до патентного дослідження.....	161
Додаток В Патенти, які використані в патентному дослідженні	164
Додаток Г Комп'ютерний розрахунок еліптичного днища колони.....	174
Додаток Д Публікації автора.....	178
Додаток Е CFD аналіз роботи нової конструкції ковпачків тарілчастої ректифікаційної колони	194
Е.1. Матеріали та методи.....	194
Е.2. Результати та їх обговорення	195
Е.3. Висновок.....	198

Вступ

Метанол посідає ключове місце у сучасній хімічній промисловості як універсальна сировина для органічного синтезу: його використовують у синтезі формальдегіду, оцтової кислоти, як компонент паливних сумішей та реагент у тонкому органічному синтезі. Найважливішу роль у забезпеченні якості цільного продукту та енерго-економності установки його виробництва відіграють колона ректифікації та парогенератор, які визначають чистоту метанолу, тепловий баланс і стабільність режимів.

Метою даної магістерської дисертації є модернізація установки виробництва метанолу шляхом проєктування ректифікаційної колони та парогенератора з урахуванням вимог до продуктивності, енергоефективності та надійності роботи.

У рамках магістерської дисертації передбачено виконати інженерні розрахунки ректифікаційної колони та парогенератора з перевіркою міцності їх елементів, після чого обґрунтувати вибір конструкцій з позицій продуктивності, енергоефективності та надійності, а також провести патентний аналіз відповідних технічних рішень і зіставити його результати з обраними варіантами. Також передбачається проведення заходів з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, рекомендації щодо їх монтажу та експлуатації, рівень стандартизації та уніфікації, визначення очікуваних техніко-економічних показників застосування установки, комп'ютерного моделювання процесів взаємодії у апараті з перемішуючим пристроєм з симуляційним експериментом, що підтверджує запропоновану модернізацію та схеми автоматичного керування технологічним процесом установки.

Завдання на магістерську дисертацію одержано 1 вересня 2025 року під час проходження переддипломної практики в ІТТФ НАН України.

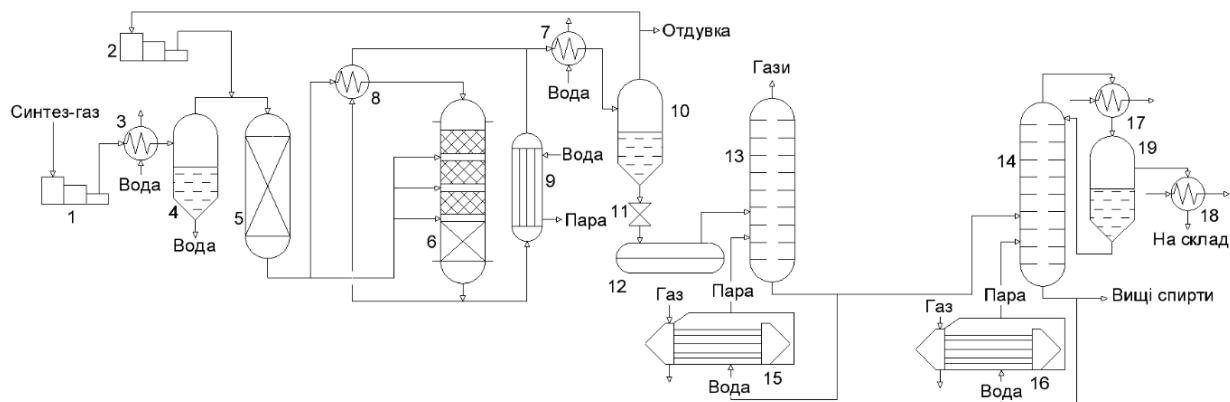
1. Призначення та область використання установки

1.1. Опис технологічного процесу

Метанол (CH_3OH) є важливою речовиною, яка використовується у багатьох галузях промисловості. Він слугує сировиною для виробництва формальдегіду, третбутилметилового етеру, розчинників, смол і пестицидів, які є основою для багатьох виробничих процесів. Також в енергетиці він застосовується як екологічно чисте паливо, добавка до пального, або у виробництві біопалива [1, 2].

Окрім традиційного застосування, використання метанолу шляхом уловлювання і перетворення вуглекислого газу у корисну сировину сприяє екології. Саме така універсальність робить метанол незамінним у багатьох галузях [1, 2].

Технологічна схема виробництва метанолу зображена на рисунку 1.1.



1 – турбокомпресор, 2 – циркуляційний компресор, 3, 7 – холодильник, 4 – сепаратор, 5 – адсорбер, 6 – реактор адіабатного типу, 8, 17, 18 – теплообмінник, 9 – котел-утилізатор, 10, 19 – сепаратор, 11 – дросель, 12 – збірник, 13, 14 – ректифікаційна колона, 15, 16 – парогенератор.

Рисунок 1.1 – Технологічна схема виробництва метанолу [4]

Технологічний процес виробництва метанолу складається з трьох послідовних стадій [3]:

- 1) Підготовка синтез-газу
- 2) Синтез
- 3) Очищення метанолу

Попередньо очищений від сірчаних сполук синтез-газ стискається в компресорі (1) до робочого тиску 5-9 МПа. Далі газ охолоджується в холодильнику (3) і надходить у сепаратор (4), де від нього відокремлюють воду. Після цього до синтез-газу додається циркуляційний газ, попередньо стиснутий у компресорі (2) до такого ж тиску. Змішана газова суміш надходить в адсорбер (5), де очищується від пентакарбонілу [2].

Далі потік газу розподіляється на два напрямки: один нагрівається в теплообміннику (8) і подається на вхід реактора (6), а другий спрямовується в реактор між шарами каталізатора для регулювання температури. Після проходження реактора, де суміш досягає температури близько 300 °С, вона знову ділиться на два потоки. Один з потоків використовується як теплоносій у теплообміннику (8), а інший охолоджується в котлі-утилізаторі (9), де генерує пару високого тиску для потреб виробництва. Потоки об'єднуються й подаються в холодильник (7), після чого охолоджена суміш спрямовується до сепаратора високого тиску (10). Тут відділяється спиртовий конденсат – сирий метанол, а газова складова стає циркуляційним газом [2].

Циркуляційний газ повертається в процес синтезу, попередньо стискаючись до робочого тиску в компресорі (2). Метанол-сирець проходить через дросель (11), де досягає атмосферного тиску, і потрапляє до збірника (12), звідки направляється на очищення в ректифікаційні колони. У першій колоні (13) видаляються гази та диметиловий ефір, а в другій (14) відділяються вищі спирти. Пар, що використовується в колонах утворюється парогенераторами (15)(16). На виході отримують метанол з чистотою 99,95% [2].

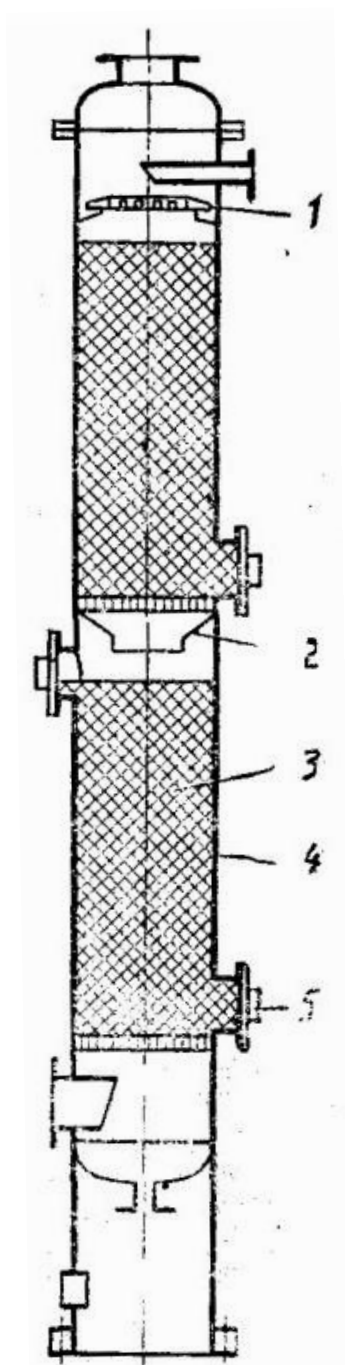
1.2. Вибір типу установки, апаратів, їх місце в технологічній схемі

У межах проєкту вибір типів апаратів для ректифікації та паропостачання здійснюється за комплексом критеріїв: продуктивність, складність конструкції, стабільність режимів і енергоефективність. Для здійснення правильного вибору типу ректифікаційної колони та парогенератора, було проведено літературний огляд доступних типів цих апаратів.

В технологічній схемі після дроселювання сирий метанол подають в першу колону ректифікації, де вилучають легколеткі компоненти, а пари конденсуються із поверненням частини конденсату як флегми. Кубова рідина першої колони потрапляє в другу ректифікаційну колону, в якій відділяють важчі домішки, а очищений дистилят охолоджують і спрямовують «на склад». Низ обох колон підігрівається парою від парогенераторів.

Вибір ректифікаційної колони здійснювався з урахуванням продуктивності, складу речовин та вимог до стабільності режиму, та проводився між насадковими і тарілчастими колонами.

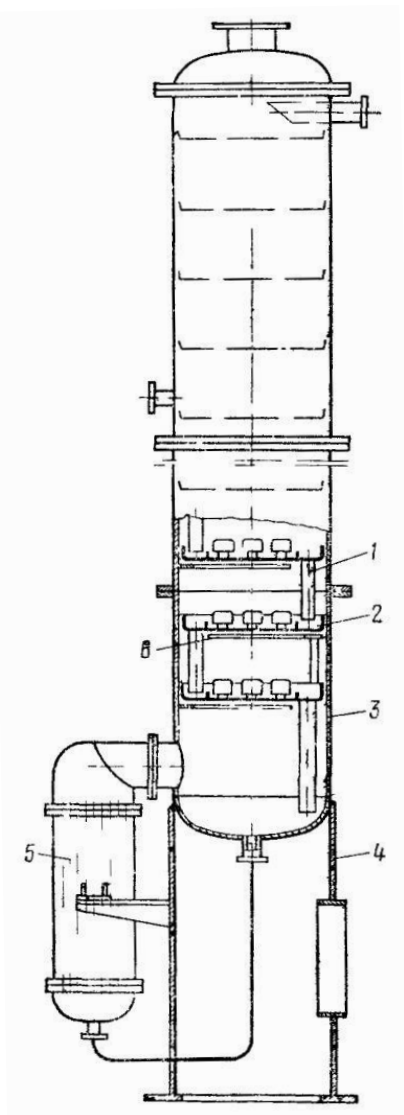
Насадкові ректифікаційні колони забезпечують велику питому поверхню та малий перепад тиску, особливо з регулярною насадкою, однак чутливі до нерівномірного зрошення, схильні до каналювання потоку та вимогливі до чистоти середовища, також ревзія й санітарна обробка шару в таких колонах ускладнені, а їх продуктивність помітно падає за наявності твердих домішок чи поверхнево-активних речовин. Схему насадкової ректифікаційної колони представлено на рисунку 1.2 [5].



1 – зрошувальна тарілка; 2 – перерозподільні пристрої; 3 – насадка; 4 – корпус; 5 – люки.

Рисунок 1.2 – Насадкова ректифікаційна колона [5]

Тарілчасті колони, навпаки, мають ширший робочий діапазон по навантаженнях, краще переносять коливання режиму та спрощують інспекцію і ремонт, проте дають більший перепад тиску. Схему тарілчастої ректифікаційної колони представлено на рисунку 1.3 [6].



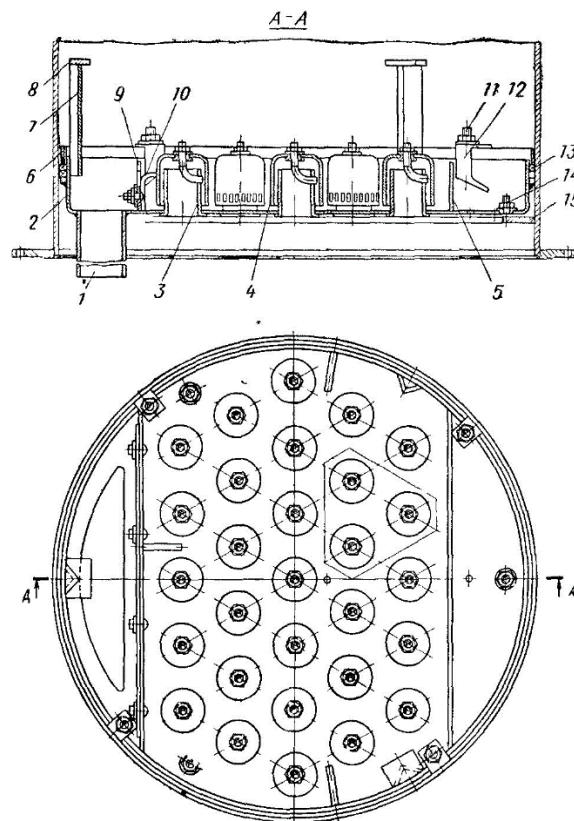
1 – переливні патрубки; 2 – тарілки; 3 – корпус; 4 – кільцева опора; 5 – ребойлер; 6 – опорні кільця.

Рисунок 1.3 – Тарілчаста ректифікаційна колона [6]

З огляду на вимоги до надійності керування флегмою та передбачуваності масообміну для даної установки обрано колону тарілчастого типу, що також визиває потребу обрати тип тарілок, які будуть встановлені в колону [6].

Ковпачкові тарілки розширюють робочий діапазон за рахунок саморегулювання прохідного перерізу й краще тримають режим при коливаннях витрат, проте дорожчі у виготовленні, складніші в ревізії й

додають рухомі елементи, чутливі до зносу. Схему ковпачкової тарілки представлено на рисунку 1.4 [6].



1 – сегментна зливна труба; 2 – основа тарілки; 3 – парові патрубки; 4 – стандартні ковпачки; 5 – перегородка; 6 – притискне кільце; 7 – стійки для встановлення верхньої тарілки; 8 – опорні плити; 9 – регулювальна планка рівня; 10 – зливна перегородка; 11 – шпильки; 12 – скоби; 13 – сальникова набивка; 14 – регулювальні гвинти; 15 – опорне кільце.

Рисунок 1.4 – Ковпачкова тарілка [6]

Сітчасті тарілки забезпечують високу інтенсивність масообміну за рахунок рівномірного проходу пари крізь перфорацію палуби, мають просту конструкцію, низьку вартість і зручні в обслуговуванні; обмеженням є підвищений ризик підтікання на нижній межі навантаження та дещо вужчий діапазон стабільної роботи без спеціальних конструктивних заходів. Схему сітчастої тарілки представлено на рисунку 1.5 [7].

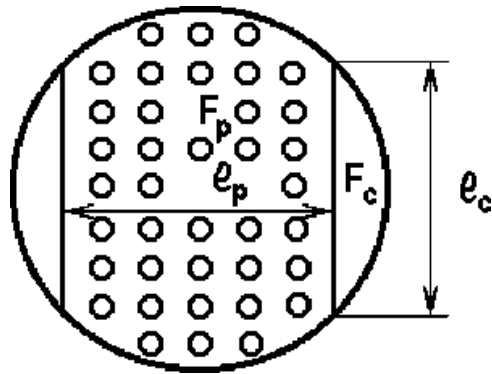
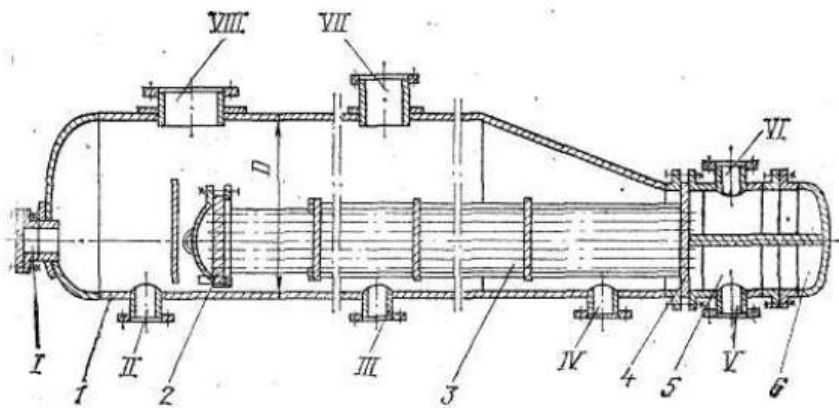


Рисунок 1.5 – Сітчаста тарілка [7]

З урахуванням діапазону навантажень установки, вимог до ремонтпридатності та вартості було обрано ковпачковий тип тарілок, який забезпечує стабільний барботаж у широкому діапазоні навантажень та зменшує ризик підтоку рідини [7].

Вибір типу парогенераторів проводився з урахуванням основних факторів: потрібної паропродуктивності й параметрів пари для ребойлерів. Було розглянуто два варіанти – кожухотрубний парогенератор та електродний (електронний).

Схему газового парогенератора представлено на рисунку 1.6 [8].

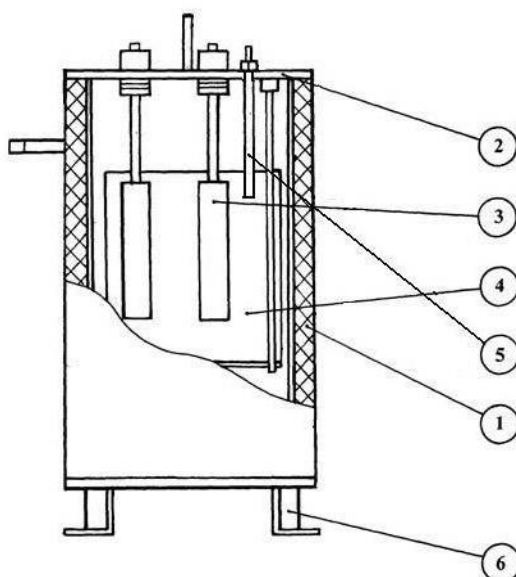


1 – кожух; 2 – трубні грати плаваючої головки; 3 – теплообмінна труба; 4 – нерухомі трубні грати; 5 – розподільна камера; 6 – кришка розподільчої камери;.

Рисунок 1.6 – Кожухотрубний парогенератор [8]

Кожухотрубний парогенератор має просту конструкцію, високу ремонтпридатність, низьку вартість та легко інтегрується з тепловою схемою установки, а його димові гази можна частково використати як вторинне паливо для трубчастої печі або спрямувати на рекуперацію.

Електродний простіший в обв'язці, дає точне регулювання параметрів та нульові локальні викиди, але потребує великої потужності й дорогий у експлуатації, а саме електродні моделі додатково вимогливі до якості живильної води й стабільності електромережі [9]. Схему електродного парогенератора представлено на рисунку 1.7 [9].



1 – корпус парогенератора; 2 – пароперегрівач; 3 – сепараційний барабан; 4 – випарник; 5 – водяний економайзер; 6 – насос примусової циркуляції.

Рисунок 1.7 – Електродний парогенератор [9]

У технологічній схемі виробництва метанолу також застосовується низка теплообмінників (позиції 3, 7, 8, 17, 18, 20, 21 на рисунку 1.1), які забезпечують охолодження стисненого синтез-газу, підігрів потоку перед реактором, відбір теплоти після реакції та теплову інтеграцію контурів. Вибір типу теплообмінного апарата для такої установки також має виконуватись за тими самими критеріями, що й для ректифікаційної колони та парогенератора:

ЛМ41МП.14.100.001	Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 18
-------------------	------------	--------------	------------	-------------

робочий тиск (до 5 - 9 МПа у газових потоках), температурний рівень (до 300 °С після реактора), можливість очищення, стабільність при змінних навантаженнях та сумісність з існуючою обв'язкою.

Висновок. Для очищення метанолу обрано тарілчасту ректифікаційну колону з ковпачковими тарілками, яка в порівнянні з насадковими забезпечує більш широкий робочий діапазон, стійкість до коливань навантаження та простішу інспекцію. Обрані ковпачкові тарілки забезпечують стабільну роботу колони при змінних навантаженнях, автоматичне вирівнювання потоку пари та зменшення ризику підтоку рідини за мінімальних витрат на обслуговування.

Як основне джерело пари прийнято газовий парогенератор – він поєднує просту конструкцію, непогану ремонтпридатність і низьку вартість за умов доступності паливного газу.

2. Технічні характеристики основних апаратів установки

Ректифікаційна колона:

Продуктивність колони, G_K , кг/с	12
Концентрація етанолу на вході, w_{e1} , мас.%	50
Продуктивність за етанолом, G_e , кг/с	6
Робочий тиск в колоні, P_K , МПа	0,101
Температура етанолу	
на вході, t_{e1} , °С	78
на виході, t_{e2} , °С	20
Діаметр колони, D , м	1,2
Висота колони, H , м	10,2;
Маса колони, m_K , кг	3800
Тип ректифікаційної колони	тарілчаста;
Тип масообмінних тарілок	ковпачкові
Кількість тарілок, n , шт	16

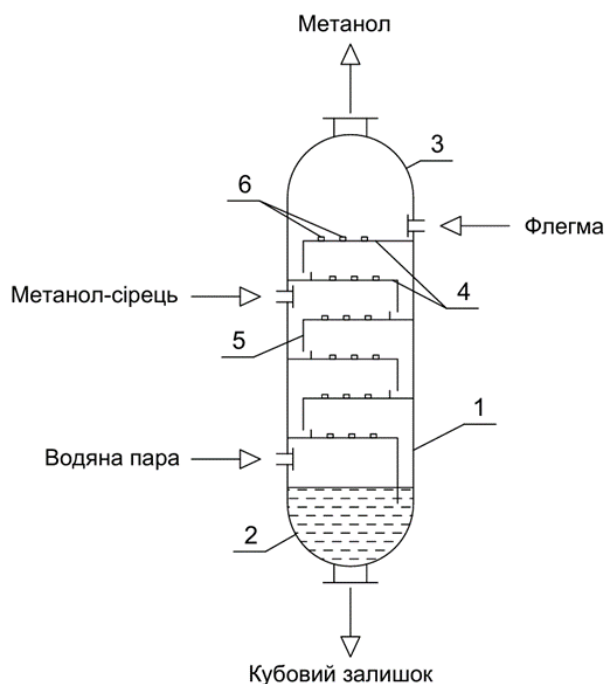
Парогенератор:

Продуктивність парогенератора, G_P , кг/с	1,1
Робочий тиск в колоні, P_P , МПа	0,101
Довжина парогенератора, L_P , м	6
Висота парогенератора, H_P , м	1,8
Маса парогенератора, m_P , кг	1800
Довжина труб, L_T , м	4
Кількість труб, n_T , шт	240
Тип парогенератора	газовий

3. Опис та обґрунтування вибраної конструкції апаратів

3.1. Конструкція і принцип дії апаратів, основних складальних одиниць та деталей

Для процесу ректифікації була обрана ректифікаційна колона тарілчастого типу з ковпачковими тарілками. Така конструкція забезпечує стабільну роботу при коливаннях навантаження, мінімальний ризик підтоку рідини та ефективний барботаж у широкому діапазоні витрат пари. Ковпачкова тарілка складається зі стояка, через який піднімається пара, та ковпачка з радіальними щілинами, через які пара рівномірно проходить у шар рідини, створюючи дрібні бульбашки й активний контакт фаз [2]. Схему тарілчастої ректифікаційної колони наведено на рисунку 3.1 [2].



1 – корпус, 2 – днище, 3 – кришка, 4 – тарілки ковпачкові, 5 – переливна стінка, 6 – ковпачки.

Рисунок 3.1 – Схема тарілчастої ректифікаційної колони [2]

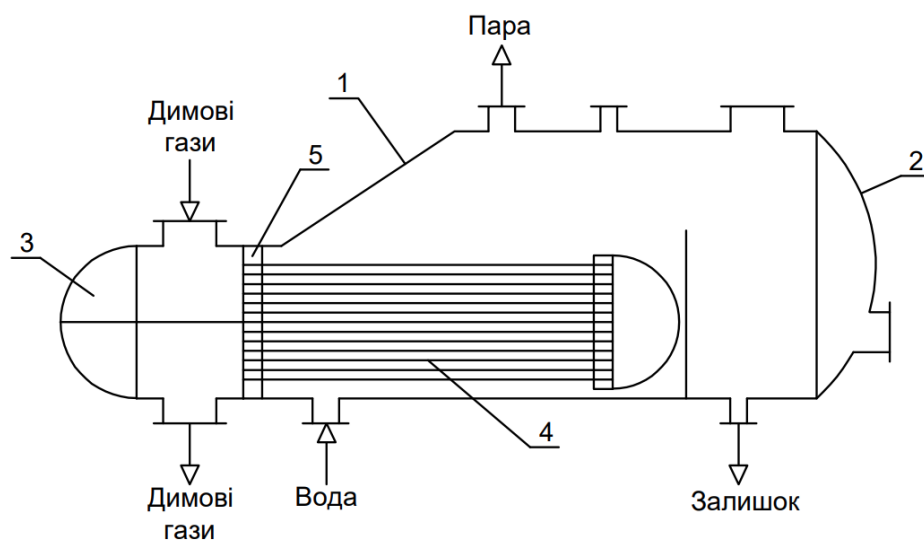
Колона складається з корпусу (1), у якому розміщені ковпачкові тарілки (4) з переливними стінками (5) та ковпачками (6), кришки (3) та днища (2).

Метанол-сирець подається в середню частину колони через штуцер, де рідина стікає вниз, послідовно проходячи через ковпачкові тарілки. Пари, що піднімаються знизу, потрапляють у стояки кожної тарілки та виходять через прорізи ковпачків у шар рідини, утворюючи дрібні бульбашки. Такий барботаж забезпечує активний масообмін між фазами й стабільну роботу колони [2].

У верхній частині колони парова фаза охолоджується й конденсується, утворюючи чистий метанол. Частина конденсату повертається у вигляді флегми для підтримання процесу масообміну, а решта відводиться як готовий продукт [2].

В якості парогенератора для даної установки було вирішено використати газовий парогенератор із за його ефективності, надійності та простої конструкції, яка значно полегшить подальші модифікації. Крім того, відпрацьований в парогенераторі газ можна використати як паливо для трубчастої печі, що додатково підвищить ефективність установки [2].

Схема парогенератора наведена на рисунку 3.2 [2].



1 – корпус, 2 – кришки, 3 – розподільна камера,
4 – труби, 5 – трубна решітка.

Рисунок 3.2 – Схема парогенератора [2]

Парогенератор складається з корпусу (1) і кришок (2). Випаровування води відбувається завдяки димовим газам, які надходять через штуцер у розподільну камеру (3), а звідти – у труби (4), закріплені трубними решітками (5). Вода подається через інший штуцер у міжтрубний простір, де, омиваючи трубний пучок, нагрівається й перетворюється на пару. Пара відводиться через верхній штуцер, а залишки води виводяться через нижній штуцер [2].

3.2. Порівняння основних показників розроблених конструкцій апаратів з аналогами

За конструкцією запропонована тарілчаста ректифікаційна колона із ковпачковими тарілками суттєво відрізняється від насадкових та сітчастих аналогів: У ковпачкових тарілках пара піднімається крізь стояк і виходить через прорізи під ковпачком у шар рідини. Так утворюється барботаж — проходження пари у вигляді дрібних бульбашок, що забезпечує інтенсивний масообмін і стійку роботу навіть за невеликих навантажень. Рідина переливається з однієї тарілки на іншу через переливні перегородки, які задають висоту шару та стабілізують процес. Такий тип колони характеризується широким робочим діапазоном, простотою регулювання і високою якістю розділення сумішей. Недоліком є дещо більший перепад тиску та металоемність конструкції [6].

У сітчастих тарілок пара проходить через отвори без ковпачків, що зменшує опір, але робить процес менш стабільним при коливаннях навантаження.

В насадкову колону з регулярною структурованою насадкою укладають насадки з гофрованих листів, які утворюють рівні канали. Рідина рівномірно розтікається тонкою плівкою по поверхні листів, а пара піднімається назустріч. При такому контакті опір потоку малий, а апарат добре працює навіть при низьких тисках і у вакуумі. Проте мінус в тому, що якщо з'являється

бруд або переко́с потоку, канали можуть пробиватись, і ефективність падатиме, а також обслуговування в такій колоні складніше, бо насадки треба діставати й мити [5].

Усередині насадкової колони з нерегулярною насипною насадкою використовують елементи типу кілець, поверхню яких змочує рідина, а пара йде вгору крізь їх проміжки. Рішення дешевше й простіше в монтажі, легко масштабувати. Але гідродинаміка менш передбачувана: при нерівномірній подачі рідини з'являються “канали”, частина об'єму працює гірше, а чистити установку доволі незручно. Для стабільної ефективності важливо стежити за якістю зрошення і чистотою сировини.

Порівняльна характеристика ректифікаційних колон наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика ректифікаційних колон

Основні технологічні показники	Тарілчаста з ковпачковими тарілками (Запропонована конструкція) [10, 11]	Тарілчаста з сітчастими тарілками [10, 11]	Тарілчаста з клапанними тарілками [10, 11]	Насадкова з регулярною насадкою [11, 12]	Насадкова з нерегулярною насадкою [11, 12]
Перепад тиску	0.8 – 1.2 кПа/тарілку (4)	0.5 – 2.0 кПа/тарілку (3)	0.4 – 1.0 кПа/тарілку (4)	0.1 – 0.5 кПа/м шару (4)	0.2 – 1.0 кПа/м шару (3)
Продуктивність	5 – 22 кг/с (4)	5 – 25 кг/с (4)	5 – 28 кг/с (4)	4–22 кг/с (3)	3–20 кг/с (3)
Діапазон навантажень	~2.0:1 – 2.8:1 (4)	2.0:1 – 2.5:1 (3)	2.5:1 – 4.0:1 (3)	~2.0:1 – 3.0:1 (3)	~1.5:1 – 2.0:1 (3)
Габарити колони	D 0.6 – 3 м; H 8 – 35 м (3)	D 0.6 – 3 м; H 8 – 35 м (3)	D 0.6 – 3 м; H 8 – 35 м (3)	D 0.5 – 3 м; H 6 – 30 м (4)	D 0.5 – 3 м; H 6 – 30 м (4)
Сума балів	15	13	14	14	13

Висновок. Тарілчаста колона з ковпачковими тарілками забезпечує стійку роботу при змінних навантаженнях і високу ефективність масообміну, що робить її надійною для очищення метанолу. Незважаючи на більший перепад тиску, вона має ширший робочий діапазон і краще пристосована до промислових коливань потоку порівняно з насадковими системами. Загалом

запропонована конструкція забезпечує оптимальний баланс між стабільністю, якістю розділення й зручністю експлуатації, тому є доцільним вибором для даної комплектації установки.

За конструкцією запропонований газовий парогенератор схеми суттєво відрізняється від електричних аналогів: теплота передається від продуктів згоряння через труби до води в міжтрубному просторі, що забезпечує ремонтпридатність і можливість рекуперації теплоти в загальній тепловій схемі. Паровий простір, топка і пакет труб забезпечують надійне живлення ребойлерів при помірних витратах [8].

Електродний парогенератор генерує пару за рахунок проходження струму через воду між електродами, що забезпечує майже безінерційний розгін і високий ККД на клемах, однак ставить високі вимоги до провідності речовин та електробезпеки [9].

Електричний парогенератор з ТЕНами використовує занурені або трубчасті нагрівачі, має просту обв'язку й нуль локальних викидів, проте потребує значних електровитрат і зазвичай дає вищу собівартість пари на промислових навантаженнях.

Порівняльна характеристика парогенераторів наведена в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Порівняльна характеристика парогенераторів

Основні технологічні показники	Газовий (Запропонована конструкція) [13]	Електродний [14]	ТЕНний [15]	Утилізаційний [16]	Твердопаливний [17]
1	2	3	4	5	6
Тиск пари	0.4 – 1.6 МПа (3)	0.7 – 2.8 МПа і вище (3)	0.4 – 1.7 МПа (3)	0.4 – 1.2 МПа (3)	0.4 – 1.6 МПа (3)
Температура пари	152 – 201 °С (3)	165 – 230 °С (4)	152 – 215 °С (3)	152 – 200 °С (3)	150 – 200 °С (3)
ККД перетворення	80 – 90 % (4)	98 – 99 % (4)	98 – 99 % (4)	90 – 95 % (4)	78 – 88 % (3)

Продовження таблиці 3.2.

1	2	3	4	5	6
Габарити	L 3.1 – 5.0 м; W 1.4 – 2.0 м; H 1.6 – 2.3 м (3)	Ø 1.8 – 2.7 м; H 3.0 – 4.0 м (3)	L 1.8 – 2.0 м; W 0.9 – 1.8 м; H 1.7 – 2.0 м (4)	L 4.5 – 8.0 м; W 1.8 – 3.0 м; H 2.0 – 3.5 м (3)	L 3.5 – 7.0 м; W 1.6 – 3.0 м; H 2.2 – 3.8 м (3)
Собівартість пари	1.0 – 1.2 (4)	1.6 – 2.2 (2)	1.7 – 2.4 (3)	0.6 – 0.9 (4)	0.8 – 1.1 (4)
Складність обслуговування	Легка (4)	Середня (3)	Середня (3)	Середня (3)	Висока (2)
Сума балів	21	19	20	20	18

Висновок. Газовий парогенератор випереджає електродний і ТЕН-овий, та інші за сумою критеріїв: нижча собівартість пари, достатні робочі параметри, зручна інтеграція в теплову схему та помірні вимоги до електровводу поєднуються з прийнятною сервісопридатністю. Електричні рішення беруть ефективністю перетворення та швидкодією, але втрачають через дорожчу енерговитрату й високі вимоги до потужності. В результаті саме газовий варіант отримує найвищу підсумкову оцінку і є обґрунтованим вибором для нашої установки.

3.3. Вибір матеріалів елементів конструкцій апаратів

В конструкції ректифікаційної колони для вузлів, що контактують із метанолом та водно-метанольними сумішами, приймаємо корозійностійку сталь 12Х18Н10Т (ГОСТ 5632-72), яка забезпечує хімічну стійкість у спиртових середовищах, нормальну зварюваність і стабільні властивості при робочих температурах. Допоміжні елементи каркасу й опор виконуємо з конструкційної сталі Ст3сп (ГОСТ 380-94), а кріплення – зі Сталі 35 (ГОСТ 1050-88). Такий набір задовільняє вимоги по корозійній стійкості, технологічності та вартості [18].

В парогенераторі тиск і температура пари помірні, тому для елементів посудини тиску (корпус, трубні решітки, патрубки) доцільна котельна сталь 20 (ГОСТ 1050-88), а для труб і ділянок, що працюють з гарячими газами, приймаємо леговану жаростійку сталь 16ГС (ГОСТ 5520). Така комбінація забезпечує ефективність при робочих температурах і простоту зварення у виробництві.

Властивості цих матеріалів наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. – Властивості використаних матеріалів [19].

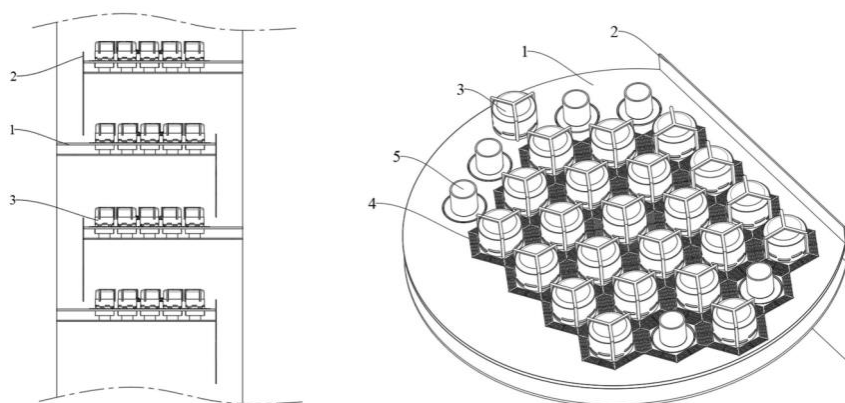
Матеріал	Границя міцності, МПа	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·град)	Густина, кг/м ³	Питома теплоємність, Дж/(кг·град)	Модуль пружності, МПа
12X18H10T ГОСТ 5632-72	530	15	7920	462	$1.98 \cdot 10^{-5}$
Ст3пс ГОСТ 380-94	370 - 480	50	7850	460	$1.20 \cdot 10^{-5}$
Сталь 35 ГОСТ 1050-88	315	49	7826	469	$2.06 \cdot 10^{-5}$
Сталь 20 ГОСТ 1050-88	410	48	7850	486	$1.20 \cdot 10^{-5}$
16ГС ГОСТ 5520-2017	490	46	7850	485	$1.30 \cdot 10^{-5}$

3.4. Патентний огляд конструкцій основного обладнання установки

Так як в роботі у нас розглядається два різні апарати, тоді і патентних досліджень проведемо два окремих, починаючи з ректифікаційних колон.

Перший патент [20] представляє собою тарілчасту ректифікаційну колону з модернізованими ковпачковими вузлами. На кожній тарілці змонтовано кілька «пухиркових» механізмів: у отворі палуби встановлена фіксована втулка, всередині якої рухається пружинний ковпачок; у ковпачок подається пара через окрему трубку, а у стінках втулки виконано перфоровані

отвори, занурені нижче рівня рідини. Під час роботи пар спочатку накопичується у вузлі, витісняє насичену рідину з втулки у ванну тарілки, далі проходить через перфорацію у шар рідини; ковпачок повертається донизу під дією пружини, а закріплена на ньому відкидна лопатка розбиває великі бульбашки на дрібні, що підсилює диспергування та збільшує ефективність масообміну. Конструкція зберігає класичну логіку тарілчастої колони, але додає керований «подих» ковпачка і локальне «оновлення» рідини у вузлі, завдяки чому тарілка стабільніше працює на змінних навантаженнях і менше втрачає ефективність через застійні зони. Схема даного апарата зображена на рисунку 3.3.



1 – тарілка (палуба); 2 – переливна перегородка/даункемер; 3 – рухомий ковпачок вузла барботажу; 4 – фіксована втулка (гніздо) у палубі; 5 – перфорована опорна пластина/сітка під ковпачкові вузли.

Рисунок 3.3 – Ректифікаційна колона для виробництва сталого авіаційного палива [20]

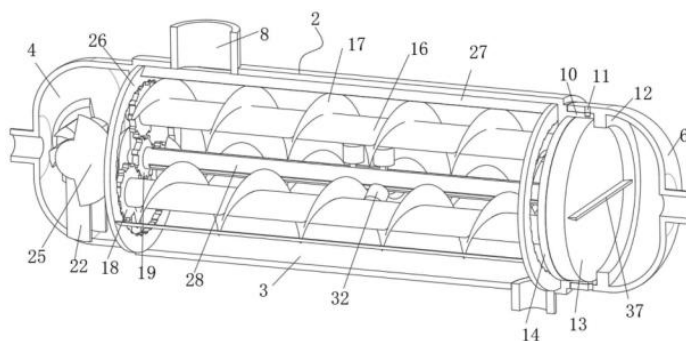
Переваги:

- Подовжений контакт пари з рідиною
- Дрібнодисперсне барботування
- Розширене робоче вікно навантажень

Недоліки:

- Підвищена конструктивна складність і вимоги до точності виготовлення
- Висока чутливість до забруднень

Другий патент [21] представляє собою ректифікаційну колону з вузлом газофазної подачі та інтегрованим теплообмінним блоком: корпус колони з'єднано з теплообмінником із вбудованими трубками та внутрішньою трубою з фільтроелементом, ліворуч приєднано живильний резервуар з вхідним патрубком, праворуч розташовано вихідний резервуар з відповідним патрубком; на теплообмінних трубках встановлено обертові кожухи зі спіральними пластинами, їхній зворотно-обертальний рух задається передачею від турбінного колеса через ряд шестерень і валів, додатково застосовано зубчасті вінці зі скребками, ролики з щітками для очищення, що вирівнює теплопередачу й стримує накипоутворення перед входом у колону. Схема даного апарата зображена на рисунку 3.4.



2 – зовнішній кожух; 3 – внутрішній циліндр/корпус каналу; 4 – ліва торцева кришка з вхідним патрубком; 6 – права торцева кришка з вихідним патрубком; 8 – верхній штуцер/люк; 10 – передній фланцевий вузол; 11 – ущільнювальне кільце; 12 – передня сферична головка; 13 – внутрішній відбивач/напрямна пластина; 14 – опорна лапа/стійка; 16 – верхній гвинтовий шнек; 17 – верхній привідний вал; 18 – вінцеве зубчасте колесо; 19 – ведуча шестерня; 22 – проміжне зубчасте колесо/муфта; 25 – турбінне колесо приводу; 27 – скребки/очисні лопаті; 28 – нижній привідний вал; 32 – нижній гвинтовий шнек; 37 – оглядовий люк/заслінка.

Рисунок 3.4 – Ректифікаційна колона для карбонату етилену з газофазною подачею [21]

Переваги:

- Енергозбереження завдяки газофазній подачі та попередньому підігріву
- Зниження накипоутворення за рахунок скребків і щіток
- Рівномірніший розподіл теплоти

Недоліки:

- Підвищена конструктивна складність багатоланкового приводу
- Чутливість механізмів і фільтра до забруднень

Наступний патент [22] представляє собою ректифікаційну колону, у якій нижню частину розділено перегородкою на дві зони: першу, призначену для відводу осаджених неорганічних домішок, і другу, гідравлічно пов'язану з ребойлером; подача живлення здійснюється збоку в середній зоні, над другою зоною розташовано вхід рефлюксу, у колоні змонтовано пакет тарілок, що встановлені перпендикулярно до перегородки, при цьому кінець нижньої тарілки навмисно «відкритий» і не торкається стінки з боку першої зони, а від його краю донизу спускається направляючий кожух, який підводить осад до відокремленого нижнього відводу; у варіантах виконання додатково використовують похилу пластину між верхнім рівнем перегородки і входом рефлюксу для запобігання зворотному перетоку, а також магнітний стрижень на стороні першої зони для уловлювання металовмісних частинок.

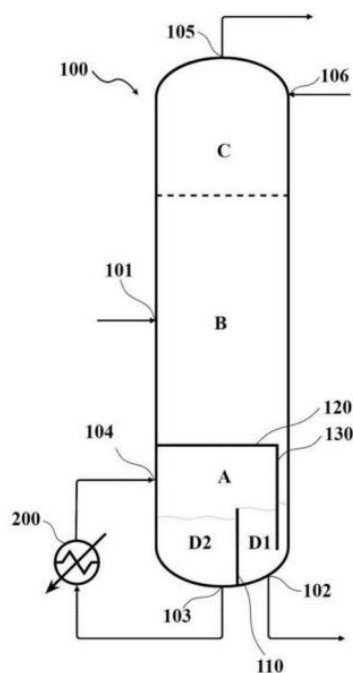
Переваги:

- Ефективніше видалення неорганічних домішок з куба
- Мінімізація заносу домішок у контур ребойлера
- Стабільніша гідравліка нижньої частини колони

Недоліки:

- Складніша конструкція нижньої частини й вищі вимоги до монтажу
- Підвищена чутливість до неправильного налаштування рівнів і переливів

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.5.

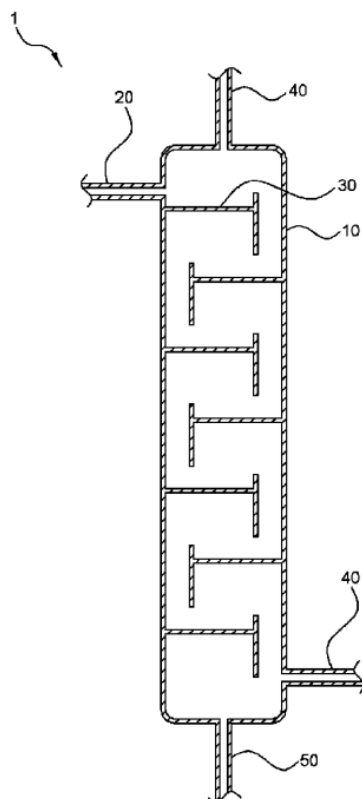


100 – колона у зборі; 101 – патрубок подачі живлення; 102 – нижній бічний патрубок контуру (злив/відвід у ребойлер); 103 – відвід у ребойлер; 104 – зворотний трубопровід із ребойлера; 105 – верхній відбір пари/дистилату; 106 – вхід рефлюксу; 110 – нижній вихід кубового продукту; 120 – розділювальна стінка в зоні куба; 130 – направляючий кожух/екран біля стінки; А – нижня кубова секція; В – середня секція контактних пристроїв; С – верхня секція; D1 – перша нижня камера (біля перегородки); D2 – друга нижня камера; 200 – ребойлер (теплообмінник).

Рисунок 3.5 – Ректифікаційна колона з розділювальною стінкою в зоні куба для вилучення неорганічних домішок [22]

Цей патент [23] представляє собою тарілчасту ректифікаційну колону, призначену для відділення летких компонентів із полімерних суспензій та латексів, зокрема для видалення залишкового мономера у процесах ПВХ; конструкція орієнтована на пригнічення піноутворення та стабілізацію барботажу. Усередині корпусу встановлено пакет тарілок із перфораціями та даункемерами, на верхній частині передбачено кілька вузлів подачі живлення, що розміщені по колу з рівним кроком, завдяки чому рідина рівномірніше

розподіляється по перерізу; додатково на тарілках застосовано зигзагоподібні направляючі бєфли для формування шляху стоку до даункемера, що зменшує локальні застої й піну при роботі у вакуумі. Газ подається знизу, леткі компоненти відводяться з верху, а рідкий залишок збирається внизу у секції відбору. Схема даного апарата зображена на рисунку 3.6.



1 – апарат у зборі; 10 – корпус колони; 20 – вхідний патрубок подачі живлення; 30 – тарілки з переливними перегородками (даункемерами); 40 – патрубки відбору пари/газової фази (верхній і бічний); 50 – нижній патрубок відбору рідини (кубовий продукт).

Рисунок 3.6 – Тарілчастий дистиляційний апарат для вилучення залишкового мономера та зменшення спінювання у ПВХ-суспензіях [23]

Переваги:

- Боротьба зі спінюванням у полімерних суспензіях
- Більш рівномірний розподіл живлення по перерізу
- Стабільніший стік рідини до даункемера

Недоліки:

- Більш складна обв'язка подачі з кількома вхідними вузлами
- Ризик забруднення отворів тарілок у присутності диспергентів і наповнювачів

Останній в цьому підрозділі патент [24] представляє собою ректифікаційну колону з вузлом випаровування і керованим відведенням конденсату з-під направляючого ковпака, що запобігає повторному потраплянню крапель у випарник. Апарат містить випарну камеру з підведенням гарячої пари, над якою встановлено направляючий ковпак із під'єднаною зверху сполучною коробкою та конденсаційною трубою; на нижній стінці ковпака закріплена похила пластина, між якою та стінкою утворено канал з відвідною трубою, завдяки чому краплі, що конденсуються на внутрішній поверхні, спрямовано стікають у канал і видаляються без повернення в зону випаровування. Усередині сполучної коробки розміщено скребковий вузол з валом і приводом через черв'ячну пару, який очищає внутрішню поверхню ковпака; під похилою пластиною встановлено фільтроелемент із власним очищенням за рахунок зв'язаного обертання вала, що приводить у рух щітки під сіткою. Для фіксації вузлів передбачені опорні диски, що жорстко кріпляться до стінки колони. Така компоновка зменшує повторне випаровування конденсату, підвищує ефективність доочищення та спрощує регламентну мийку.

Переваги:

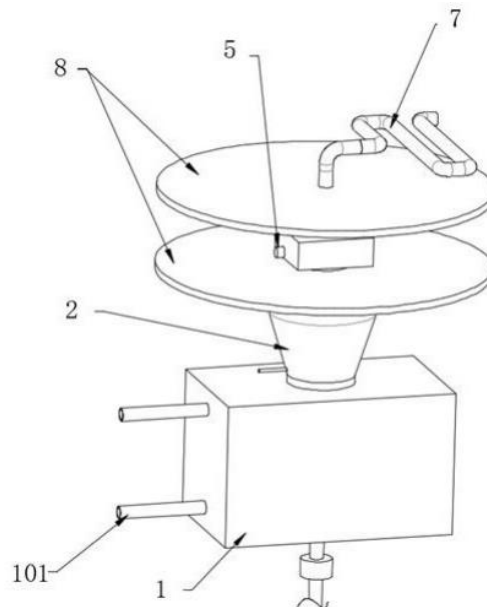
- Відведення конденсату з-під ковпака без повторного випаровування
- Самоочищення поверхонь ковпака і фільтра
- Підвищення стабільності та ефективності очищення

Недоліки:

- Складніший механічний вузол зі скребками та приводом

- Чутливість до засмічення каналу і фільтра при неякісній підготовці сировини

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.7.



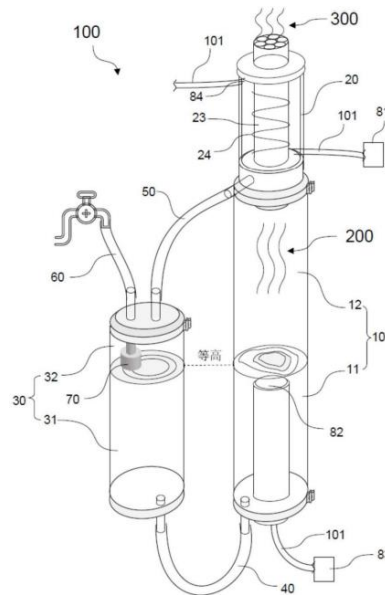
1 – корпус випарної камери; 2 – конічний направляючий ковпак/перехідник;
 5 – верхня кришка-сполучна коробка над ковпаком; 7 –
 конденсаційна/відвідна труба на кришці; 8 – кільцеві диски-екрани ковпака;
 101 – бічні патрубки підведення та відведення середовищ.

Рисунок 3.7 – Ректифікаційна колона з автоматичною подачею для очищення етилацетату [24]

Тепер проводимо патентне дослідження парогенераторів.

Перший патент [25] в цьому підрозділі представляє собою парогенератор, у якому насичену пару, що утворюється в простому котлі, додатково прогрівають у окремому блокові перегрівання до стану перегрітої водяної пари, причому весь контур працює при атмосферному тиску; живильна вода подається не безпосередньо в об'єм кипіння, а через окремий живильний резервуар, який з котлом з'єднано паро- та водопроводами зверху й знизу відповідно, рівні в резервуарі та котлі підтримують на сталому рівні за

допомогою рівнеміра-контролера, що стабілізує кипіння та безперервний випуск насиченої пари; у секції перегріву застосовано багатоканальний пористий канал у вигляді зв'язаного пакета металевих труб, суцільного стрижня з осьовими каналами або екструдованого профілю, зовні якого розміщено електричний нагрівач для інтенсивного й рівномірного доведення насиченої пари до перегрітого стану. Схема даного апарата зображена на рисунку 3.8.



100 – система в цілому; 200 – котел (камера кипіння насиченої пари); 300 – перегрівач; 10 – оболонка котла; 11 – занурювальний нагрівальний елемент у котлі; 12 – корпус/камера котла; 20 – корпус перегрівача; 23 – спіральний багатоканальний елемент перегріву; 24 – електронагрівач перегрівача; 31 – корпус живильного резервуара; 32 – кришка живильника; 40 – нижній з'єднувальний водяний трубопровід; 50 – паропровід від котла до перегрівача; 60 – підвід води/кран заповнення; 70 – датчик рівня у живильнику; 81 – електронний блок керування; 82 – внутрішній нагрівач у котлі; 83 – блок живлення; 84 – вихід перегрітої пари з захисною сіткою; 101 – електричні та сигнальні з'єднання.

Рисунок 3.8 – Пристрій для утворення перегрітої водяної пари при атмосферному тиску [25]

Переваги:

- Стабільне безперервне утворення перегрітої пари без посудин тиску
- Спрощене обслуговування завдяки розділенню контурів кипіння та перегріву
- Гнучкі варіанти виконання пористого каналу для оптимізації теплообміну

Недоліки:

- Залежність від електронагріву у блоці перегріву
- Потреба в якісній водопідготовці для уникнення накипу у пористих каналах

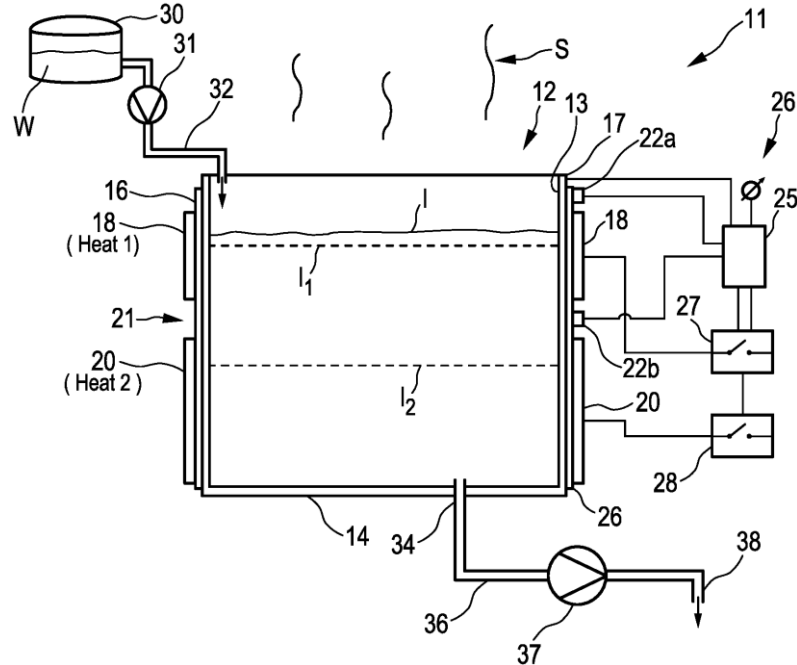
Другий патент [26] представляє собою електричний парогенератор із баком води, на зовнішній поверхні якого розміщено два незалежні нагрівальні пристрої на різних висотах, причому керування пуском і роботою здійснюється за сигналами від двох типів датчиків температури: суцільного плоского сенсора, що «накриває» область обох нагрівачів та прилеглу стінку бака, і точкового сенсора у верхній зоні; алгоритм передбачає короткі цикли заповнення баку з тестовим вмиканням нижнього нагрівача, перевірку порога температури, подальше доведення рівня води до покриття нижнього нагрівача й швидкий старт генерації пари, тоді як мікроконтролер керує активацією/деактивацією обох нагрівачів за даними від обох сенсорів для мінімізації часу виходу на режим і запобігання «сухому» нагріву. Схема даного апарата зображена на рисунку 3.9.

Переваги:

- Швидкий пуск та стабільний вихід на генерацію пари
- Підвищена безпека завдяки подвійній температурній діагностиці
- Адаптивне керування рівнем води та потужністю нагріву

Недоліки:

- Ускладнена електроніка керування і вимоги до калібрування датчиків
- Вища залежність від якості електроживлення та завадостійкість системи



11 – парогенератор у зборі; S – пара; 12 – бак води; 13 – верхня кришка/стінка бака; 14 – дно бака; 16 – зона верхнього нагріву; 18 – нагрівач 1 (Heat 1); 20 – нагрівач 2 (Heat 2); 17 – верхня кромка/парова зона; 21 – напрям подачі води; 22a – верхній датчик температури (площинний); 22b – нижній датчик температури; 25 – точковий температурний датчик; 26 – електропроводка/кронштейн підключення; 27 – силові ключі/перемикачі нагрівачів; 28 – блок керування; 30 – резервуар сирової води (W); 31 – насос подачі; 32 – лінія підведення води; 34 – дренажний патрубок у нижній частині бака; 36 – вихідна/зливна лінія; 37 – насос/клапан на виході; 38 – вихід у систему.

Рисунок 3.9 – Парогенератор з двома нагрівальними зонами та подвійним контролем температури [26]

Наступний патент [27] представляє собою парогенератор із трьома функціональними вузлами: з боку топки розміщено паливно-теплообмінний модуль з касетними теплообмінними елементами, у яких коаксіально скомпоновано зовнішній кожух, два з'єднані між собою ліфтові (зв'язані) втулки та пару обмінних дисків з дугоподібними проточними канавками і сполучними отворами; зверху та знизу касетний пакет стягують торцеві плити, по краях яких виконані фланці, а вздовж осі проходить стяжний (співвісний) вал з різьбовою фіксацією гайкою; у площині обмінних дисків передбачено гвинтові лопаті, що підсилюють турбулізацію продуктів згоряння. На боці димових газів інтегровано вузол утилізації теплоти з коробом і змійовиком для попереднього підігріву води, між основним модулем і утилізатором змонтовано з'єднувальний блок з газопроводом, водопроводом та хрестовою плитою позиціонування. Конструкція орієнтована на зручність очищення внутрішніх поверхонь, можливість регулювати «довжину» й інтенсивність теплопередачі за рахунок взаємного переміщення втулок на різьбі та перестановки касет, а також на зниження витрат палива завдяки відбору залишкової теплоти на хвості димових газів.

Переваги:

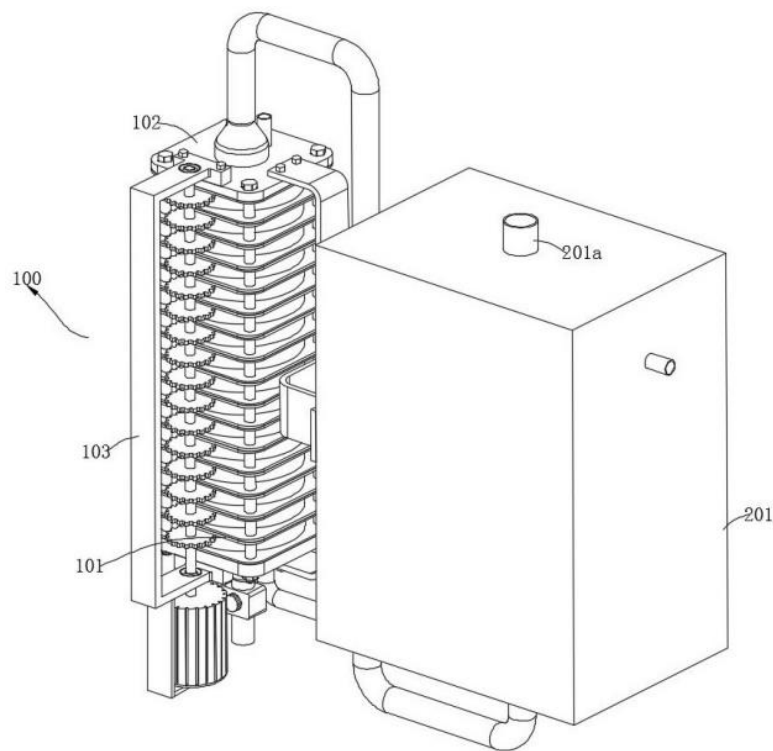
- Поліпшене очищення внутрішніх поверхонь і зниження втрат теплопередачі.
- Регулювання інтенсивності теплообміну без зміни габаритів.
- Утилізація теплоти димових газів для підігріву живильної води.

Недоліки:

- Підвищена конструктивна складність касет і різьбових вузлів.
- Вищі вимоги до герметизації та точності складання.

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.10.

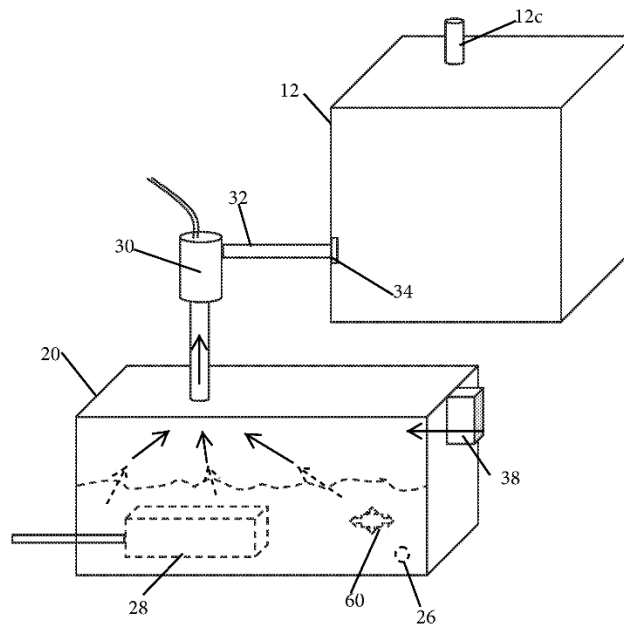
ЛМ41МП.14.100.001	Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 38
-------------------	------------	--------------	------------	-------------



100 – парогенератор у зборі; 101 – модуль приводу/вентилятора (привід теплообміну); 102 – верхній колектор/кришка теплообмінника; 103 – касетний спіральний теплообмінний пакет; 201 – блок утилізації теплоти/корпус газоходу; 201a – верхній патрубок/випуск.

Рисунок 3.10 – Парогенератор з модулем утилізації теплоти та регульованими теплообмінними касетами [27]

Передостанній розглядаємий патент [28] описує систему утворення пари/нагрітого туману для подачі у технологічну камеру: поза камерою розміщено резервуар з водою та зануреним ультразвуковим перетворювачем, який формує туман; потік туману вентилятором спрямовується по лінії до входу в камеру, а на цій лінії встановлено вбудований нагрівач для доведення середовища до заданої температури, що дозволяє подавати як підігрітий туман нижче точки кипіння, так і насичену, суху чи перегріту пару. Керування здійснюється контролером за сигналами датчиків рівня та температури; передбачені запірні арматури, дренаж і варіанти виконання нагрівача в лінії. Схема даного апарата зображена на рисунку 3.11.



12 – камера/шафа; 12с – верхній вентиляційний патрубок камери; 20 – резервуар води; 28 – ультразвуковий перетворювач у резервуарі; 30 – змішувальний вузол подачі туману; 32 – лінія подачі туману/пари до камери; 34 – вхідний штуцер у камеру; 38 – вентилятор/повітродувка; 26 – дренажний вузол резервуара; 60 – нагрівальний елемент у резервуарі.

Рисунок 3.11 – Парогенератор з ультразвуковим генератором туману та вбудованим лінійним підігрівачем [28]

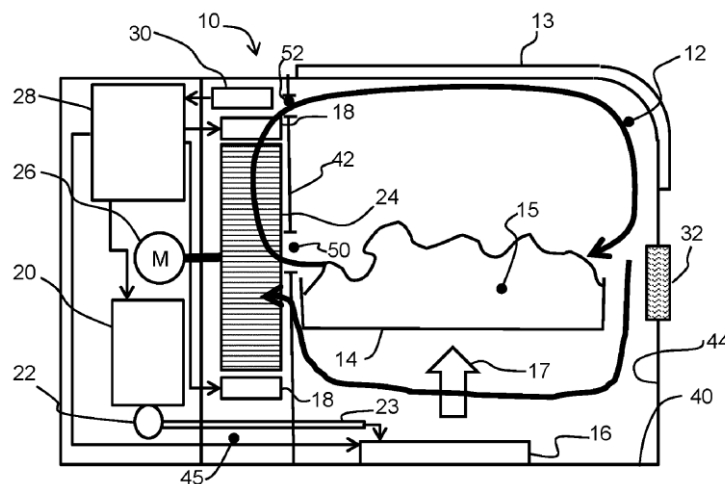
Переваги:

- Гнучка подача: від підігрітого туману до перегрітої пари.
- Зменшене накипоутворення в резервуарі порівняно зі звичайними парогенераторами..
- Нижче споживання води та енергії при частині режимів

Недоліки:

- Залежність від справності ультразвукового перетворювача й вентилятора.
- Підвищені вимоги до якості води для захисту перетворювача.

Останній патент [29] представляє собою компактний пароконвекційний апарат із інтегрованим парогенератором: у корпусі формують теплову камеру з електронагрівальними елементами та примусовою рециркуляцією повітря, а подачу пари забезпечує вбудований парогенератор з резервуаром води, нагрівальним блоком і каналами зволоження; конструкція орієнтована на швидкий старт пари й кероване зволоження повітряного потоку в камері, передбачені датчики і алгоритми керування для стабілізації подачі пари при змінних теплових навантаженнях. Схема даного апарата зображена на рисунку 3.12.



10 – пароконвекційний апарат у зборі; 12 – корпус; 13 – дверця камери; 14 – нижній повітропровід; 15 – датчик у камері; 16 – нагрівальний елемент днища; 17 – напрямок основного повітряного потоку; 18 – отвори рециркуляційного каналу; 20 – резервуар води парогенератора; 22 – насос подачі води; 23 – дренажний клапан; 24 – вентилятор рециркуляції; 26 – електронний блок керування; 28 – блок живлення; 30 – вузол парогенератора; 32 – фільтр/зволожувальний елемент бокового каналу; 40 – зовнішній кожух; 42 – верхній рециркуляційний повітропровід; 44 – боковий стояк повітряного каналу; 45 – піддон для конденсату; 50 – датчик у зворотному каналі; 52 – заслінка у верхній частині каналу.

Рисунок 3.12 – Пароконвекційний кухонний апарат із вбудованим парогенератором [29]

Переваги:

- Швидкий вихід на режим завдяки вбудованому парогенератору
- Кероване зволоження повітряного потоку в камері
- Компактність та інтегрована автоматика

Недоліки:

- Обмежена паропроductивність у порівнянні з промисловими котлами
- Підвищені вимоги до якості води й обслуговування каналу зволоження

Висновок. Розглянуті патенти на ректифікаційні колони демонструють тенденцію до підвищення ефективності масообміну та стабільності гідравлічного режиму за рахунок удосконалення інтерналів і керованого розподілу потоків. Ключові напрями модернізації включають: застосування тарілок зі спеціальними рухомими елементами для подовження контакту «пар–рідина» та зменшення піноутворення, інтеграцію локальних вузлів самоочищення і промивок для роботи з «брудними» живленнями, конструктивні рішення для рівномірного зрошення та мультивводу, а також компоновку нижньої частини з розділювальними перегородками для селективного відводу домішок і захисту ребойлерів. Попри зростання складності й вимог до точності виготовлення, такі рішення забезпечують стабільний режим, ширше робоче вікно навантажень і вищу якість продукту при помірних експлуатаційних витратах.

Сучасні патенти на парогенератори зосереджені на зменшенні питомих енерговитрат, прискоренні виходу на режим і підвищенні сервісопридатності через модульність і теплоутилізацію. Провідні підходи включають касетні теплообмінні пакети з покращеним доступом до очищення, економайзери на хвості димових газів, рознесення контурів кипіння та перегріву для формування сухої пари навіть при атмосферному тиску, а також багатозонний контроль температури й рівня води для швидкого та безпечного пуску. Хоча ускладнення автоматики та підвищені вимоги до водопідготовки збільшують

початкову складність, комбінування цих рішень забезпечує енергоефективність, стабільність і надійність роботи паропостачання для колони.

В запропонованій конструкції апарата не використовуються технічні рішення захищені правами інтелектуальної власності, а отже апарат є патентно чистим.

4. Розрахунки, що підтверджують працездатність конструкцій

4.1. Параметричний розрахунок колони

Метою розрахунку – є визначення основних геометричних розмірів колони.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.1.

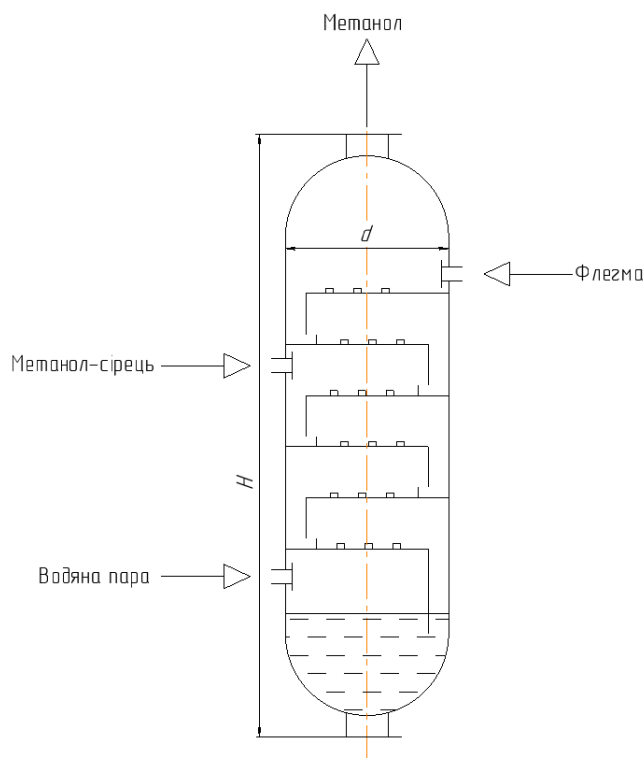


Рисунок 4.1 – Розрахункова схема тарілчастої ректифікаційної колони
Вихідні дані:

витрата оцтової кислоти, кг/с, G_1	12;
вміст етанолу, %, x'_f	50;
вміст води, %, t_{2p}	50;
вміст метанолу у дистиляті, %, x'_D	99,5;
вміст метанолу у кубовому залишку, %, x'_W	0,5.

Розрахунок ведемо по методиці наведених в [30].

Рівняння матеріального балансу:

– по потокам

$$G'_D + G'_W = 12;$$

– по етанолу

$$G'_D \cdot 0,995 + G'_W \cdot 0,005 = 12 \cdot 0,5;$$

де G'_D – масові витрати дистиляту, G'_W – масові витрати кубового залишку.

З рівняння матеріального балансу знаходимо:

$$G'_D = 6 \text{ кг/с}; G'_W = 6 \text{ кг/с}$$

Виражаємо концентрації живлення, дистиляту і кубового залишку в мольних долях:

– живлення

$$x_f = \frac{\frac{x'_f}{M_a}}{\frac{x'_f}{M_a} + \frac{100 - x'_f}{M_b}} = \frac{\frac{0,5}{46,068}}{\frac{0,5}{46,068} + \frac{1 - 0,5}{18,015}} = 0,281$$

– дистилят

$$x_D = \frac{\frac{x'_D}{M_a}}{\frac{x'_D}{M_a} + \frac{100 - x'_D}{M_b}} = \frac{\frac{0,995}{46,068}}{\frac{0,995}{46,068} + \frac{1 - 0,995}{18,015}} = 0,987$$

– кубовий залишок

$$x_W = \frac{\frac{x'_W}{M_a}}{\frac{x'_W}{M_a} + \frac{100 - x'_W}{M_b}} = \frac{\frac{0,005}{46,068}}{\frac{0,005}{46,068} + \frac{1 - 0,005}{18,015}} = 0,0019$$

де M_a – молярна маса етанолу, M_b – молярна маса води.

Визначаємо число тарілок колони. Для цього будуємо діаграму для визначення флегмового числа на рисунку 4.2.

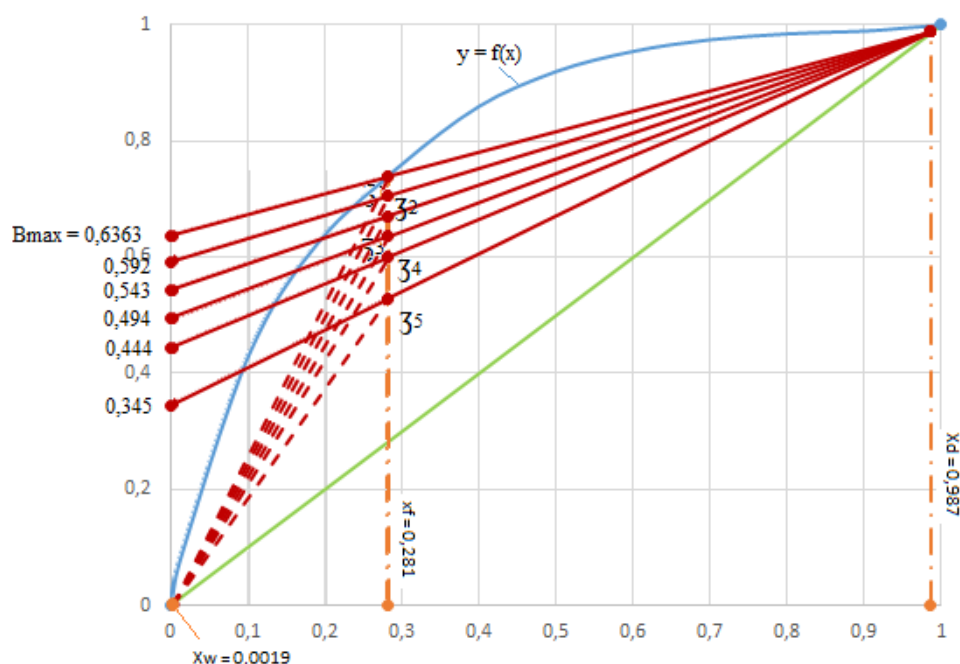


Рисунок 4.2. – Визначення оптимального флегмового числа

На діаграмі МакКейба–Тіле (рисунок 4.2) попередньо проводять діагональ $y = x$ і наносять криву фазової рівноваги для системи етанол – вода при робочому тиску колони. Далі позначають точки, що відповідають складам дистилляту і кубового залишку: $x_D = y_D = 0,987$ та $x_W = y_W = 0,0019$; на кривій рівноваги відмічають точку живлення з абсцисою $x_f = 0,281$. Оскільки живлення подається як насичена рідина ($q \approx 1$), через x_f проводять вертикальну q -лінію. Мінімальне флегмове число визначають дотичною до кривої рівноваги, проведеною з точки (x_D, y_D) ; у результаті отримують $B_{max} = 0,636$ і відповідно $R_{min} = 0,552$. Для обраного $R > R_{min}$ будують робочу пряму $y = (\frac{R}{R+1})x + B$, де $B = \frac{x_D}{R+1}$, а через точку її перетину з лінією живлення – робочу пряму відгінної частини.

Проводять робочу пряму до перетину з віссю ординат і визначають відрізок $B_{max} = 0,636$.

Оскільки виконується умова:

$$B_{max} = \frac{x_D}{R_{min} + 1}$$

Беруть:

$$R_{min} = \frac{x_D - B_{max}}{B_{max}} = \frac{0,987 - 0,636}{0,636} = 0,552$$

а для флегмових чисел, більших за 0,552, значення відрізка В обчислюють за:

$$B = \frac{x_D}{R + 1}$$

результати записуються до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Залежність значення В від флегмового числа

R	0,67	0,82	0,99	1,23	1,86
B	0,592	0,543	0,494	0,444	0,345

Для цих значень флегмового числа графічно визначають відповідні числа ступенів зміни концентрацій (рисунк 4.3) і фіксують у таблиці 4.2.

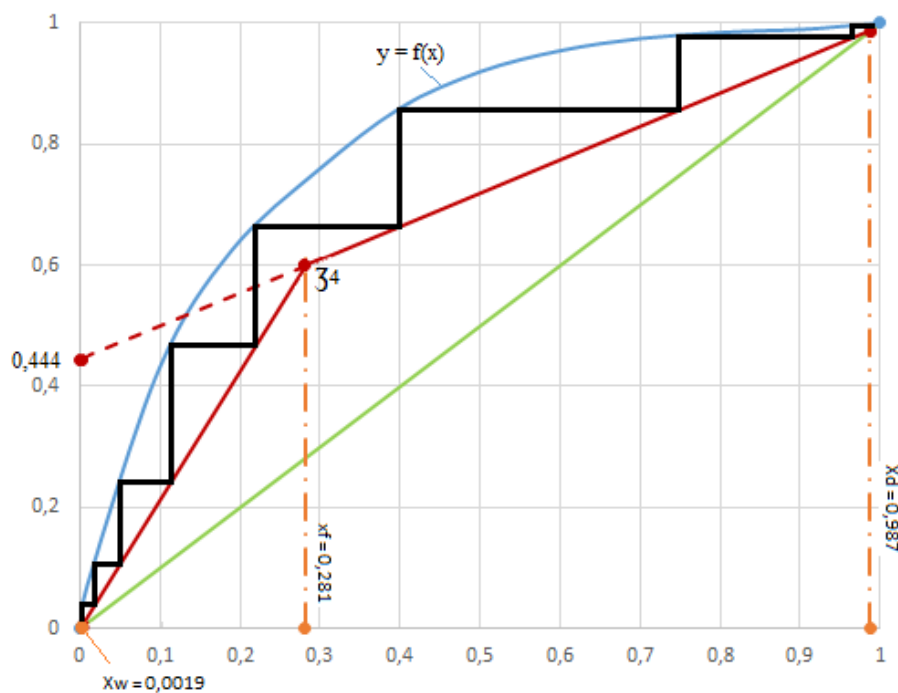


Рисунок 4.3. – Визначення оптимального флегмового числа

Таблиця 4.2 – Залежність числа ступеня зміни концентрацій від флегмового числа.

R	0,67	0,82	0,99	1,23	1,86
N	13	11	9	8	6

Для визначення оптимального флегмового числа R та відповідної кількості теоретичних тарілок використано посібник [30] і графічну залежність на рис. 16., та отримано:

$$R = 1,23; N_T = 8$$

Дійсне число тарілок:

$$N_D = \frac{N_T}{\eta_T}$$

де η_T – коефіцієнт корисної дії тарілки.

Коефіцієнт η_T визначається як функція виразу $(\alpha \cdot \mu)$:

Суміш нижньої частини колони:

$$t_1 = 98^\circ\text{C}; \mu_{c1} = 0,25 \text{ cП}; \alpha_1 = 2,3$$

де α – відносна летючість, μ – в'язкість рідкої фази.

$$\alpha_1 \cdot \mu_{c1} = 2,3 \cdot 0,25 = 0,575$$

$$\eta_T = 0,49 \cdot (\alpha_1 \cdot \mu_{c1})^{-0,245} = 0,49 \cdot (2,3 \cdot 0,25)^{-0,245} = 0,56$$

Вихідна суміш:

$$t_2 = 84^\circ\text{C}; \mu_{c2} = 0,5 \text{ cП}; \alpha_2 = 2,25$$

$$\alpha_2 \cdot \mu_{c2} = 2,25 \cdot 0,5 = 1,125$$

$$\eta_2 = 0,49 \cdot (\alpha_2 \cdot \mu_{c2})^{-0,245} = 0,49 \cdot (2,25 \cdot 0,5)^{-0,245} = 0,46$$

Суміш верхньої частини колони:

$$t_3 = 78^\circ\text{C}; \mu_{c3} = 0,4 \text{ cП}; \alpha_3 = 2,29$$

$$\alpha_3 \cdot \mu_{c3} = 2,29 \cdot 0,4 = 0,916$$

$$\eta_3 = 0,49 \cdot (\alpha_3 \cdot \mu_{c3})^{-0,245} = 0,49 \cdot (2,29 \cdot 0,4)^{-0,245} = 0,48$$

Середній коефіцієнт корисної дії тарілки:

$$\eta_T = \frac{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3}{3} = \frac{0,56 + 0,46 + 0,48}{3} \approx 0,5$$

Дійсна кількість тарілок:

$$N_D = \frac{N_T}{\eta_T} = \frac{8}{0,5} = 16$$

Кількість тарілок в нижній та верхній частині колони [31]:

$$\begin{aligned} \log \frac{N_R}{N_S} &= 0,206 \cdot \log \left(\frac{B}{D} \cdot \frac{1 - x_f}{x_f} \cdot \frac{x_w^2}{1 - x_f} \right) \\ &= 0,206 \cdot \log \left(1,768 \cdot \frac{0,719}{0,281} \cdot \frac{0,0019^2}{0,013} \right) = -0,209 \end{aligned}$$

де $\frac{B}{D} \approx \frac{332.564}{188.338} \approx 1.768$ – відношення молярних втрат

тоді:

$$\frac{N_R}{N_S} = 10^{-0,209} = 0,618$$

Розподілення теоретичних тарілок:

$$N_R = \frac{0,618}{1 + 0,618} \cdot 8 = 3,06$$

$$N_S = 8 - N_R = 8 - 3,06 = 4,94$$

Визначення кількості дійсних тарілок в частинах колони:

$$N_{ДВ} = \frac{N_R}{\eta} = \frac{3,06}{0,5} = 6,12$$

$$N_{ДН} = \frac{N_S}{\eta} = \frac{4,94}{0,5} = 9,88$$

Округляємо і отримуємо, що $N_{ДВ} = 6$ тарілок працюють у збагачувальній (верхній) частині колони, а $N_{ДН} = 10$ тарілок у відгінній (нижній) частині.

Об'єми та густини пари та рідини, що проходять через колону:

Кількість пари, яка піднімається вгору за секунду:

$$G_y = G_D \cdot (R + 1) = 0,564 \cdot (1,23 + 1) = 1,258 \text{ кг}$$

Кількість рідини, що стікає вниз за секунду:

у верхній частині колони:

$$G_{хв} = G_D \cdot R = 0,564 \cdot 1,23 = 0,694 \text{ кг}$$

у нижній частині колони:

$$G_{хн} = G_D \cdot R + G_f = 0,564 \cdot 1,23 + 1,61 = 2,304 \text{ кг}$$

При заданих концентраціях середній склад етанолу:

$$a_{в.с} = \frac{35 + 96}{2} = 65,5 \%$$

$$a_{н.с} = \frac{35 + 4}{2} = 19,5 \%$$

прийняли для метанолу у верхній частині 96%, а у нижній 4%.

Для метанолу і води при цих концентраціях приймаємо:

$$\rho_{хв} = 820 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{хн} = 920 \text{ кг/м}^3$$

Середня густина по колоні:

$$\rho_{хс} = \frac{\rho_{хв} + \rho_{хн}}{2} = \frac{820 + 920}{2} = 870 \text{ кг/м}^3$$

Середня концентрація пари у колоні:

$$y_{в.с} = \frac{0,987 + 0,22}{2} = 0,604$$

$$y_{н.с} = \frac{0,174 + 0,0019}{2} = 0,088$$

Середня густина пари:

$$\rho_y = \frac{M_{CH_3OH} \cdot y_{в.с} + M_{H_2O} \cdot (1 - y_{в.с})}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + t_{ср1}}$$

де $M_{CH_3OH} = 32,04$; $M_{H_2O} = 18,01$.

Верхня частина ($t_{cp1} = 75^{\circ}\text{C}$):

$$\rho_{ув.с} = \frac{32,04 \cdot 0,604 + 18,01 \cdot (1 - 0,604)}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + 75} = 0,905 \text{ кг/м}^3$$

Нижня частина ($t_{cp2} = 82^{\circ}\text{C}$):

$$\rho_{ун.с} = \frac{32,04 \cdot 0,088 + 18,01 \cdot (1 - 0,088)}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + 82} = 0,65 \text{ кг/м}^3$$

Середня густина пари в колоні:

$$\rho_{ус} = \frac{\rho_{ув.с} + \rho_{ун.с}}{2} = \frac{0,905 + 0,65}{2} \approx 0,78 \text{ кг/м}^3$$

Середня температура пари:

$$t_{cp} = \frac{t_{cp1} + t_{cp2}}{2} = \frac{75 + 82}{2} = 78,5^{\circ}\text{C}$$

Молекулярна маса пари:

$$M_{cp} = M_a \cdot x_a + M_{\beta} \cdot x_{\beta} = 32,04 \cdot 0,987 + 18,01 \cdot (1 - 0,987) = 31,8 \text{ г/моль}$$

Об'ємна швидкість пари в колоні:

$$\begin{aligned} V_y &= \frac{G_d \cdot (R + 1) \cdot 22,4 \cdot (273 + t)}{M_{cp} \cdot 273} = \frac{0,564 \cdot (1,23 + 1) \cdot 22,4 \cdot (273 + 78,5)}{31,8 \cdot 273} \\ &= 1,31 \text{ м}^3/\text{с} \end{aligned}$$

Максимальна об'ємна швидкість рідини у верхній частині колони на верхній тарілці:

$$V_{xb} = \frac{G_{xb}}{\rho_d} = \frac{0,694}{820} = 8,46 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$$

Максимальна об'ємна швидкість рідини у нижній частині колони на тарілці живлення:

$$V_{xn} = \frac{G_{xn}}{\rho_f} = \frac{2,304}{920} = 2,51 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$$

Розрахунок діаметра і висоти колони:

Діаметр колони:

$$d = \sqrt{\frac{V_y}{0,785 \cdot \omega_y}}$$

Об'ємна швидкість пари в колоні $V_y = 1,31 \text{ м}^3/\text{с}$. Швидкість пари в колоні ω_y залежить від типу тарілок та відстані між ними. Приймаємо $h_{\text{MT}} = 600 \text{ мм}$ – відстань між тарілками. При $\rho_{\text{п}}/\rho_{\text{р}} = 0,78/870 = 8,96 \cdot 10^{-4}$ допустима швидкість пари в колоні $\omega = 1,3 \text{ м/с}$.

$$d = \sqrt{\frac{V_y}{0,785 \cdot \omega_y}} = \sqrt{\frac{1,31}{0,785 \cdot 1,3}} = 1,136 \text{ м}$$

Приймаємо типовий діаметр колони $d = 1,2 \text{ м}$.

Швидкість пари в колоні:

$$\omega_y = \frac{V_y}{0,785 \cdot d^2} = \frac{1,31}{0,785 \cdot 1,2^2} = 1,16 \text{ м/с}$$

$$\omega_y < \omega$$

$$1,16 < 1,3$$

умова виконується.

Висота тарілчастої частини колони:

$$H_{\text{T}} = h_{\text{MT}} \cdot (N_{\text{Д}} - 1) = 0,6 \cdot (16 - 1) = 9,0 \text{ м}$$

де $h_{\text{MT}} = 0,6 \text{ м}$ – відстань між тарілками.

Загальна висота колони:

$$H_{\text{заг}} = h_{\text{MT}} \cdot (N_{\text{Д}} + 1) = 0,6 \cdot (16 + 1) = 10,2 \text{ м}$$

4.2. Конструктивний розрахунок тарілок

Метою розрахунку – є визначення параметрів тарілок.

Розрахункова схема наведена на Рисунку 4.4.

Вихідні дані:

діаметр колони, м, d 1,2;

об'ємна швидкість пари, м³/с, ω_y 1,31;

швидкість пари, м/с, V_y 1,16;

Розрахунок ведемо по методиці наведений в [32].

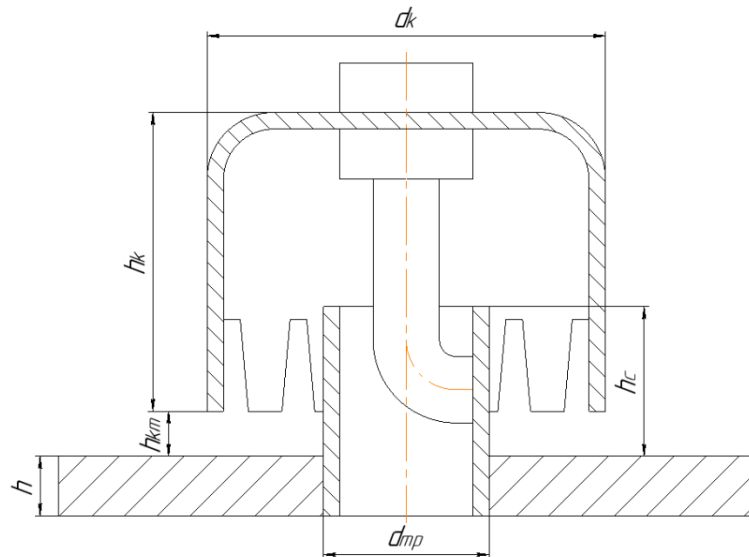


Рисунок 4.4. – Розрахункова схема ковпачкової тарілки

Сумарна площа поперечного розрізу всіх парових патрубків повинна становити 10–20 % дійсного розрізу колони:

$$S_{\pi} = 0,1 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 0,1 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} = 0,113 \text{ м}^2$$

Швидкість пари у паровому патрубку ковпачка:

$$\omega_{\pi} = \frac{\omega_y}{0,1} = \frac{1,16}{0,1} = 11,6 \text{ м/с}$$

Вибираємо парові патрубки розміром 25 × 3,5 мм.

Кількість парових патрубків:

$$n = \frac{4 \cdot V_{\text{сек}}}{\omega_{\pi} \cdot \pi \cdot d_{\pi}^2} = \frac{4 \cdot 1,31}{11,6 \cdot 3,14 \cdot 0,025^2} = 244$$

де $d_{\pi} = 0,025$ м – діаметр парового патрубка.

Діаметр ковпачка розраховуємо з умови рівності швидкостей пари у патрубку та кільцевому перерізі:

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

Приймаємо $d_k = 0,05 \text{ м}$

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

Умова рівності дійсного перерізу патрубка і площі, через яку проходить пара у ковпачку:

$$\frac{\pi \cdot d_{\pi}^2}{4} = \pi \cdot d_{\pi} \cdot h_k$$

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

Кількість прорізів у ковпачку:

$$i = \frac{V_y}{n \cdot b \cdot l \cdot \omega_2} = \frac{1,31}{244 \cdot 0,005 \cdot 0,04 \cdot 4} = 6,7 \approx 7$$

приймаємо розміри прорізів ковпачка: $b = 0,005 \text{ м}$, $l = 0,04 \text{ м}$. Швидкість пари у прорізах ковпачка приймаємо $\omega_2 = 4 \text{ м/с}$.

Відстань між прорізами:

$$a = \frac{\pi \cdot d_k - i \cdot b}{i} = \frac{3,14 \cdot 0,05 - 7 \cdot 0,005}{7} = 0,0139 \text{ м}$$

Діаметр переливної трубки:

$$d_{Tp} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{xh}}{\pi \cdot m \cdot \omega_p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,51 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 2 \cdot 0,15}} = 0,103 \text{ м}$$

де $V_{xh} = 2,51 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ – об'єм рідини, яка стікає через переливну трубу у нижній частині колони; $m = 4$ – прийняте число переливних трубок на тарілці; $\omega_p = 0,15 \text{ м/с}$ – прийнята швидкість стікання рідини.

Висота рідини над обрізом зливної труби:

$$L = \pi \cdot d_{Tp} \cdot m = 3,14 \cdot 0,103 \cdot 2 = 0,646 \text{ м}$$

$$h_p = \sqrt[3]{\left(\frac{V_{xh}}{1,773 \cdot L}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{2,51 \cdot 10^{-3}}{1,773 \cdot 0,646}\right)^2} = 0,017 \text{ м}$$

Приймаємо рівень рідини на тарілці $h_T = 0,065$ м, тоді:

висота переливної труби над тарілкою:

$$h_C = h_T - h_p = 0,065 - 0,017 = 0,048 \text{ м}$$

відстань між нижнім обрізом ковпачка і тарілкою:

$$h_{K.T} = h_C - l = 0,048 - 0,04 = 0,008 \text{ м}$$

висота ковпачка до прорізів:

$$h_1 = h_K + 2 \cdot h_p = 0,00625 + 2 \cdot 0,017 = 0,040 \text{ м}$$

Висновок: у даному розрахунку визначено розміри і кількість ковпачків, а також розміри парових патрубків.

4.3. Тепловий розрахунок колони

Метою розрахунку – є визначення втрат теплоти в колоні.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.1.

Розрахунок ведемо по методиці наведених в [33].

Кількість теплоти, яку необхідно подавати до куба колони, визначають із рівняння теплового балансу:

$$Q_K = Q_D + Q_D \cdot c_D \cdot t_D + G_W \cdot c_W \cdot t_W - G_f \cdot c_f \cdot t_f + Q_{\text{втр}}$$

Теплоємності суміші метанолу та води при температурах 65 °С, 79 °С, 99 °С:

$$c_f = 4150 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°С)}; c_D = 2520 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°С)}; c_W = 4210 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°С)}$$

Кількість теплоти, яку забирає вода у дефлегматорі:

$$Q_D = G_D \cdot (1 + R) \cdot r = 0,564 \cdot (1,23 + 1) \cdot 1106,4 \cdot 10^3 = 1,392 \cdot 10^6 \text{ Вт}$$

де $r = 1106,4 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$ – теплота конденсації етанолу при 65 °С.

Втрати тепла у кубі колони з урахуванням втрат теплоти:

$$Q_K = 1,392 \cdot 10^6 + 0,564 \cdot 2520 \cdot 65 + 2,304 \cdot 4210 \cdot 99 + 1,61 \cdot 4150 \cdot 25 + 3,3357 \cdot 10^4 = 2,238 \cdot 10^6 \text{ Вт}$$

Витрати гріючої пари при $p = 1$ атм і вологості 5 %:

$$G_{\Pi} = \frac{2,238 \cdot 10^6}{2140 \cdot 10^3 \cdot 0,95} = 1,1 \text{ кг/с}$$

Витрати води у дефлегматорі при нагріванні її на 20 °С:

$$G_{\text{В}} = \frac{1,392 \cdot 10^6}{4166 \cdot 20} = 16,7 \text{ кг/с}$$

Витрати води у холодильнику дистиляту:

$$G'_{\text{В}} = \frac{0,564 \cdot 2520 \cdot (65 - 25)}{4166 \cdot 20} = 0,68 \text{ кг/с}$$

Загальні витрати води:

$$G_{\text{Взаг}} = G_{\text{В}} + G'_{\text{В}} = 16,7 + 0,68 = 17,4 \text{ мг/с}$$

Висновок: у результаті розрахунку визначено втрати теплоти в ректифікаційній колоні – $2,238 \cdot 10^6$ Вт та витрати води – 17,4 кг/с.

4.4. Гідравлічний розрахунок колони

Метою розрахунку – є визначення гідравлічних опорів в колоні.

Розрахункова схема наведена на Рисунку 4.5.

Розрахунок ведемо по методиці наведених в [32].

Гідравлічний опір колони:

$$\Delta p_{\text{к}} = N_{\text{Т}} \cdot \Delta p$$

де $N_{\text{Т}}$ – число тарілок; Δp – гідравлічний опір тарілки, Н/м².

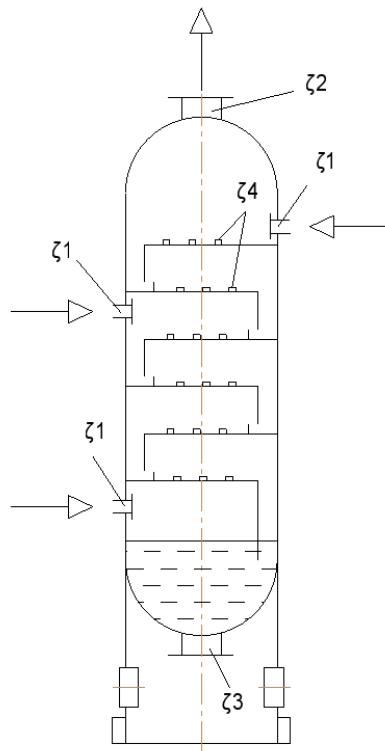


Рисунок 4.5 – Розрахункова схема гідравлічного опору колони.

Гідравлічний опір ковпачкової тарілки:

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

де Δp_1 – опір сухої тарілки при повністю відкритих прорізах; Δp_2 – опір, обумовлений силами поверхневого натягу; Δp_3 – гідравлічний тиск стовпа при відкритих прорізах; Δp_4 – статичний тиск стовпа рідини над верхньою прорізом.

Знаходимо значення кожного зі складових Δp :

$$\Delta p_1 = \xi \cdot \frac{\rho_{\text{уср}} \cdot \omega_2^2}{2} = 1,75 \cdot \frac{0,78 \cdot 4^2}{2} = 10,9 \text{ Н/м}^2$$

де $\xi = 1,75$ – коефіцієнт опору; $\rho_{\text{уср}} = 0,9$ – середня густина пари в колоні, кг/м³; $\omega_2 = 4$ – швидкість пари у прорізах ковпачків, м/с.

$$\Delta p_2 = 2 \cdot \sigma \cdot \left(\frac{1}{l} + \frac{1}{b} \right) = 2 \cdot 0,025 \cdot \left(\frac{1}{0,04} + \frac{1}{0,005} \right) = 11,25 \text{ Н/м}^2$$

де $\sigma = 25 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}^2$ – поверхневий натяг, кг/с^2 ; $l = 0,04 \text{ м}$ – висота прорізі;
 $b = 0,005 \text{ м}$ – ширина прорізі.

$$\Delta p_3 + \Delta p_4 = \rho_{\text{хс}} \cdot g \cdot (0,5 \cdot l + h_p) = 870 \cdot 9,81 \cdot (0,5 \cdot 0,04 + 0,017) \\ = 315,3 \text{ Н/м}^2$$

Загальний опір тарілки:

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 + \Delta p_4 = 10,9 + 11,25 + 315,3 = 337,5 \text{ Н/м}^2$$

Загальний опір всіх 12 тарілок:

$$\Delta p_k = N_T \cdot \Delta p = 16 \cdot 337,5 = 5400 \text{ Н/м}^2$$

Мінімальна допустима відстань між тарілками, яка забезпечує роботу гідравлічного затвору, визначається за умовою:

$$h_{\text{м.т}} > h_{\text{пер}} \approx 1,8 \cdot \frac{\Delta p}{\rho_{\text{хв}} \cdot g} \\ 0,6 > 1,8 \cdot \frac{337,5}{870 \cdot 9,81} = 0,071 \text{ м}$$

Висновок: умова виконується, що забезпечує нормальну роботу гідравлічного затвору у переливному пристрої тарілки.

4.5. Параметричний розрахунок парогенератора

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

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.6.

Вихідні дані:

витрати води, кг/с , $G_{\text{в}}$	1,10;
витрати пари, кг/с , $G_{\text{в.п}}$	1,35;
тиск води, кг/с , $P_{\text{в}}$	0,30;

тиск пари, кг/с, $P_{в.п}$	0,101;
теплота пароутворення води, Дж/кг, $r_в$	$2,14 \cdot 10^6$;
температура води на вході, °C, $t_в$	25;
температура пари на виході, °C, $t_{в.п.}$	100;

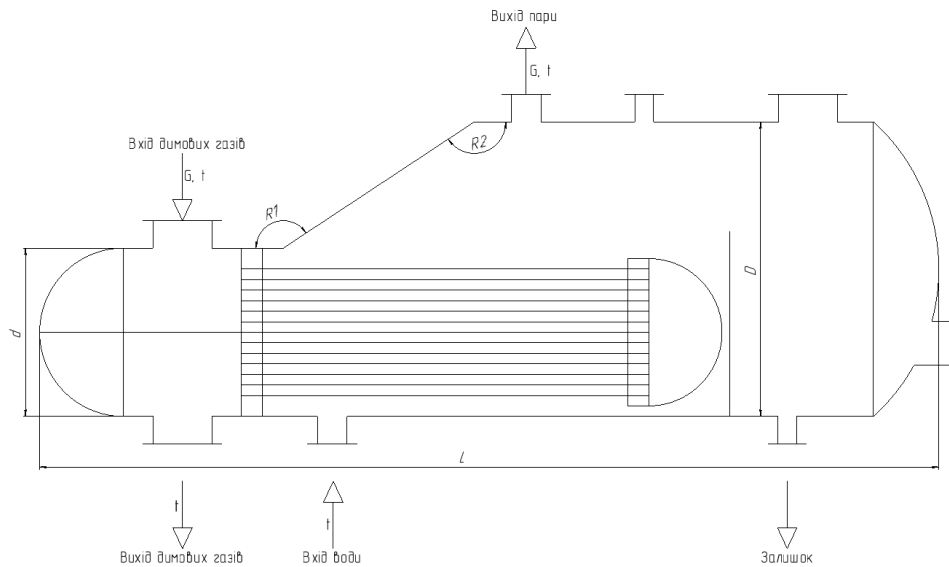


Рисунок 4.6. – Розрахункова схема парогенератора

Розрахунок ведемо по методиці наведених в [34].

Розглядаємо процес фазового переходу гліцерину з рідкого в газоподібний стан.

Кількість теплоти на випаровування:

$$Q = G_в \cdot r_в \cdot 1,05 = 1,10 \cdot 2,14 \cdot 10^6 \cdot 1,05 = 2,4717 \cdot 10^6 \text{ Вт}$$

Перша ітерація ($q = 4250$):

Необхідна площа теплообміну:

$$F = \frac{Q}{K_{оп} \cdot \Delta t} = \frac{2,4717 \cdot 10^6}{1000 \cdot 8,5} = 290,79 \text{ м}^2$$

приймаємо $\Delta t = 8,55 \text{ К}$ – розрахункова різниця температур, $K_{оп} = 1000 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$.

Сумарна довжина труб у теплообміннику:

$$nL = \frac{F}{\pi \cdot d_{\text{зовн}}} = \frac{290,79}{3,14 \cdot 0,025} = 3704 \text{ м}$$

приймаємо $d_{\text{зовн}} = 0,025 \text{ м}$ - діаметр труб, а $s_{\text{ст}} = 0,002 \text{ м}$ - товщина стінки труб.

Щільність стікання конденсату по внутрішній стінці:

$$\Gamma = \frac{G_{\text{вп}}}{nL \cdot 2} = \frac{1,35}{3704 \cdot 2} = 1,822 \cdot 10^{-4} \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}}$$

Критерій Рейнольдса плівки конденсату:

$$Re_{pl} = \frac{4 \cdot \Gamma}{\mu} = \frac{4 \cdot 1,822 \cdot 10^{-4}}{87,28 \cdot 10^{-6}} = 8,35$$

Критерій Нуссельта ($a = 0,5$):

$$\begin{aligned} Nu &= a \cdot Re_{pl}^{0,5} \cdot \left(\frac{\sigma}{\rho_p \cdot g \cdot d_{\text{вн}}^2} \right)^{0,3} \cdot \left(\frac{L}{d_{\text{вн}}} \right)^{0,35} = \\ &= 0,5 \cdot 8,35^{0,5} \cdot \left(\frac{0,0121}{46,25 \cdot 9,8 \cdot 0,021^2} \right)^{0,3} \cdot \left(\frac{2}{0,021} \right)^{0,35} = 3,069 \end{aligned}$$

Приведена товщина плівки конденсату:

$$\sigma_{priv} = \left(\frac{\mu^2}{\rho_p^2 \cdot g} \right)^{0,33} = \left(\frac{(87,28 \cdot 10^{-6})^2}{46,25^2 \cdot 9,8} \right)^{0,33} = 7,851 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

Коефіцієнт тепловіддачі зі сторони пари:

$$\alpha_1 = \frac{3,069 \cdot \lambda}{\sigma_{priv}} = \frac{2,064 \cdot 0,549}{7,851 \cdot 10^{-5}} = 1,443 \cdot 10^4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Коефіцієнт тепловіддачі на поверхні труб (бульбашкове кипіння):

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= 0,075 \cdot \left[1 + 10 \cdot \left(\frac{\rho_{gl}}{\rho_{pg}} - 1 \right) \right]^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\lambda_{gl}^2 \cdot \rho_{gl}}{\mu_{gl} \cdot \sigma_{gl} \cdot T_{kip,gl}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot q^{\frac{2}{3}} = \\ &= 0,075 \cdot \left[1 + 10 \cdot \left(\frac{1,060}{1,969} - 1 \right) \right]^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{285^2 \cdot 1060}{0,4242 \cdot 1 \cdot (290 + 273)} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &\quad \cdot (4250)^{\frac{2}{3}} = 3,3 \cdot 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \end{aligned}$$

Загальний коефіцієнт теплопередачі та питомий потік:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{5800} + \frac{1}{3000} + \frac{1}{\alpha_2}} =$$
$$= \frac{1}{\frac{1}{1,443 \cdot 10^4} + \frac{0,002}{24} + \frac{1}{5800} + \frac{1}{3000} + \frac{1}{3,3 \cdot 10^3}} = 1040 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$
$$q = K \cdot \Delta t = 1040 \cdot 8,5 = 8840 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Розбіжність порівняно з $q_{or} = 4250$:

$$\varepsilon_q = \frac{|q_{or} - q|}{q} \cdot 100\% = \frac{|4250 - 8840|}{8840} \cdot 100\% = 52\%$$

Друга ітерація ($q = 8840$):

$$F = \frac{Q}{q} = \frac{2,4717 \cdot 10^6}{8840} = 279,6 \text{ м}^2$$

Сумарна довжина труб у теплообміннику:

$$nL = \frac{F}{\pi \cdot d_{\text{зовн}}} = \frac{279,6}{3,14 \cdot 0,025} = 3562 \text{ м}$$

Щільність стікання конденсату по внутрішній стінці:

$$\Gamma = \frac{G_{\text{вп}}}{nL \cdot 2} = \frac{1,35}{3561,78 \cdot 2} = 1,89 \cdot 10^{-4} \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}}$$

Критерій Рейнольдса плівки конденсату:

$$Re_{pl} = \frac{4 \cdot \Gamma}{\mu} = \frac{4 \cdot 1,89 \cdot 10^{-4}}{87,28 \cdot 10^{-6}} = 8,662$$

Критерій Нуссельта:

$$Nu = 0,5 \cdot Re_{pl}^{0,5} \cdot \left(\frac{\sigma}{\rho_p \cdot g \cdot d_{\text{вн}}^2} \right)^{0,3} \cdot \left(\frac{L}{d_{\text{вн}}} \right)^{0,35} =$$
$$= 0,5 \cdot 8,662^{0,5} \cdot \left(\frac{0,0121}{46,25 \cdot 9,8 \cdot 0,021^2} \right)^{0,3} \cdot \left(\frac{2}{0,021} \right)^{0,35} = 3,126$$

Коефіцієнт тепловіддачі зі сторони пари:

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda}{\sigma_{priv}} = \frac{3,126 \cdot 0,549}{7,851 \cdot 10^{-5}} = 2,19 \cdot 10^4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Коефіцієнт тепловіддачі на поверхні труб (бульбашкове кипіння):

$$\alpha_2 = 0,075 \cdot \left[1 + 10 \cdot \left(\frac{\rho_{gl}}{\rho_{pg}} - 1 \right) \right]^{-\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{\lambda_{gl}^2 \cdot \rho_{gl}}{\mu_{gl} \cdot \sigma_{gl} \cdot T_{kip,gl}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot q^{\frac{2}{3}} =$$
$$0,075 \cdot \left[1 + 10 \cdot \left(\frac{1060}{1,969} - 1 \right) \right]^{-\frac{2}{3}} \cdot \left(285^2 \cdot \frac{1060}{0,4242 \cdot 1 \cdot (290 + 273)} \right)^{\frac{1}{3}}$$
$$\cdot (8840)^{\frac{2}{3}} = 2,173 \cdot 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Загальний коефіцієнт теплопередачі та питомий потік:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{5800} + \frac{1}{3000} + \frac{1}{\alpha_2}} =$$
$$= \frac{1}{\frac{1}{2,19 \cdot 10^4} + \frac{0,002}{24} + \frac{1}{5800} + \frac{1}{3000} + \frac{1}{2,173 \cdot 10^3}} = 968,6$$
$$q = K \cdot \Delta t = 968,59 \cdot 8,5 = 8233$$

Розбіжність порівняно з $q_{or} = 6648,226$:

$$\varepsilon_q = \frac{|q_{or} - q|}{q} \cdot 100\% = \frac{|8840 - 8233,02|}{8233,02} \cdot 100\% = 7,373\%$$

Третя ітерація ($a = 8233,02$):

$$F = \frac{Q}{q} = \frac{2,4717 \cdot 10^6}{8233,02} = 300,2 \text{ м}^2$$

Сумарна довжина труб у теплообміннику:

$$nL = \frac{F}{\pi \cdot d_{зовн}} = \frac{300,2}{3,14 \cdot 0,025} = 3824 \text{ м}$$

Щільність стікання конденсату по внутрішній стінці:

$$\Gamma = \frac{G_{вп}}{nL \cdot 2} = \frac{1,35}{3824,2 \cdot 2} = 1,77 \cdot 10^{-4} \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}}$$

Критерій Рейнольдса плівки конденсату:

$$Re_{pl} = \frac{4 \cdot \Gamma}{\mu} = \frac{4 \cdot 1,77 \cdot 10^{-4}}{87,28 \cdot 10^{-6}} = 8,112$$

Критерій Нуссельта:

$$Nu = a \cdot Re_{pl}^{0,5} \cdot \left(\frac{\sigma}{\rho_p \cdot g \cdot d_{BH}^2} \right)^{0,3} \cdot \left(\frac{L}{d_{BH}} \right)^{0,35} =$$
$$= 0,5 \cdot 8,112^{0,5} \cdot \left(\frac{0,0121}{46,25 \cdot 9,8 \cdot 0,021^2} \right)^{0,3} \cdot \left(\frac{2}{0,021} \right)^{0,35} = 3,025$$

Коефіцієнт тепловіддачі зі сторони пари:

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda}{\sigma_{priv}} = \frac{3,025 \cdot 0,549}{7,851 \cdot 10^{-5}} = 2,115 \cdot 10^4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Коефіцієнт тепловіддачі на поверхні труб (бульбашкове кипіння):

$$\alpha_2 = 0,075 \cdot \left[1 + 10 \cdot \left(\frac{\rho_{gl}}{\rho_{pg}} - 1 \right) \right]^{-\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{\lambda_{gl}^2 \cdot \rho_{gl}}{\mu_{gl} \cdot \sigma_{gl} \cdot T_{kip,gl}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot q^{\frac{2}{3}} =$$
$$= 0,075 \cdot \left[1 + 10 \cdot \left(\frac{1060}{1,969} - 1 \right) \right]^{-\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{285^2 \cdot 1060}{0,4242 \cdot 1 \cdot (290 + 273)} \right)^{\frac{1}{3}}$$
$$\cdot (8233,02)^{\frac{2}{3}} = 2,395 \cdot 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Загальний коефіцієнт теплопередачі та питомий потік:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{5800} + \frac{1}{3000} + \frac{1}{\alpha_2}} =$$
$$= \frac{1}{\frac{1}{2,115 \cdot 10^4} + \frac{0,002}{24} + \frac{1}{5800} + \frac{1}{3000} + \frac{1}{2,395 \cdot 10^3}} = 948,86 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$q = K \cdot \Delta t = 948,86 \cdot 8,5 = 8065 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Розбіжність порівняно з $q_{or} = 8233 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$:

$$\varepsilon_q = \frac{|q_{or} - q|}{q} \cdot 100\% = \frac{|8233,02 - 8065,31|}{8065,31} \cdot 100\% = 2,08\%$$

Площа теплообміну для нормального протікання процесу:

$$F = \frac{Q}{q} = \frac{2,4717 \cdot 10^6}{8065,31} = 306,95 \text{ м}^2$$

Висновок: За результатами ітераційного теплового розрахунку доцільно застосувати кожухотрубний парогенератор із плаваючою головкою, в якому потрібна площа теплообміну становить $F_{\text{потр}} = 306,95 \text{ м}^2$. Прийнята компоновка: 240 труб довжиною $L = 4 \text{ м}$, зовнішній діаметр, кількість ходів – 2.

4.6. Конструктивний розрахунок парогенератора

Метою розрахунку – є визначення діаметра трубної решітки та корпуса апарата за заданою кількістю труб і міжтрубним кроком. Також треба визначити необхідну товщину трубної решітки та перевірити міцність кріплення труб у решітці.

Розрахункова схема наведена на Рисунку 4.7.

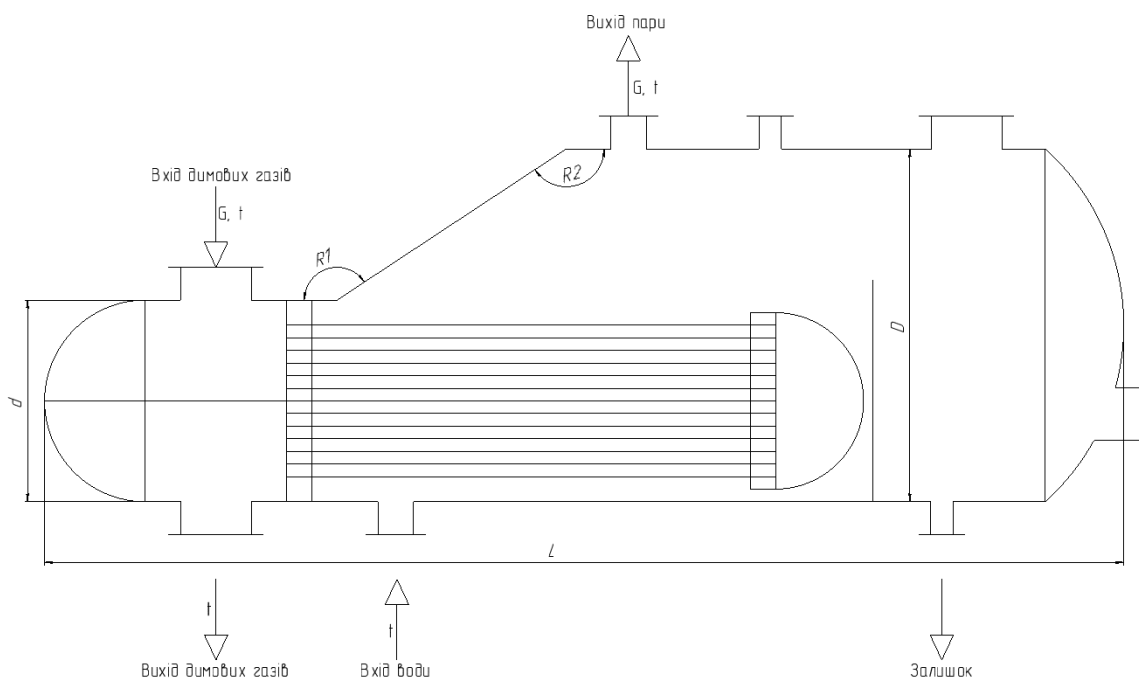


Рисунок 4.7. – Розрахункова схема парогенератора.

Розрахунок ведемо по методиці наведених в [35].

Для шахового розташування зв'язок між загальною кількістю труб n , числом отворів на діагоналі b та кількістю отворів на стороні найбільшого трикутника має вигляд:

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

$$3a^2 - 3a - 240 = 0$$

Звідки отримаємо:

$$a = 5$$

Визначаємо дійсну кількість трубок для обраної схеми:

$$n' = 3 \cdot a \cdot (a - 1) + 1 = 3 \cdot 5 \cdot (5 - 1) + 1 = 61 \text{ шт}$$

Кількість отворів на діагоналі зовнішнього шестикутника:

$$b = 2 \cdot a - 1 = 2 \cdot 5 - 1 = 9 \text{ шт}$$

Кількість отворів, яку додаємо на кожну зі сторін зовнішнього шестикутника:

$$a_1 = \frac{n - n''}{6} = \frac{240 - 61}{6} = 29 \text{ шт}$$

Міжтрубний крок:

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

Обираємо спосіб кріплення труб у решітці: зварювання.

Загальний переріз розподільчої камери:

$$F = \frac{\pi \cdot D_k^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,4^2}{4} = 1,539 \text{ м}^2$$

Загальний поперечний перетин труб:

$$F_0 = \frac{\pi \cdot d_H^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,025^2}{4} = 0,24 \text{ м}^2$$

Коефіцієнт ослаблення решітки отворами:

$$\varphi_0 = \frac{F - F_0}{F} = \frac{1,539 - 0,24}{1,539} = 0,844$$

Розрахункова товщина трубної решітки:

$$S_{RP} = 0,5 \cdot D_k \cdot \sqrt{\frac{|P_T - P_M|}{[\sigma_p] \cdot \varphi_0}} = 0,5 \cdot 1,4 \cdot \sqrt{\frac{8,434 - 0,101}{172,5 \cdot 0,523}} = 0,212\text{м}$$

де $[\sigma]_p = 172,5$ МПа – допустиме напруження матеріалу; $\varphi_0 = 0,844$ – коефіцієнт ослаблення.

Виконавча товщина трубної решітки, мм:

$$S_R = S_{RP} + C = 212 + 2 = 214$$

З конструктивних міркувань приймаємо [35]:

$$S_R = 220$$

Висновок: для забезпечення необхідної кількості отворів на кожну зі сторін зовнішнього шестикутника додаємо по 29 отворів; центральний ряд глушимо. Розрахована товщина трубної решітки становить 220 мм.

4.7. Розрахунок еліптичного днища колони

Метою розрахунку – є визначення товщини стінки еліптичного днища під дією внутрішнього тиску.

Розрахункова схема наведена на Рисунку 4.8.

Вихідні дані:

матеріал днища	12X18H10T;
діаметр колони, м, D	1,2;
розрахунковий тиск, МПа, p_R	0,1;
розрахункова температура, К, t_R	372;
допустиме напруження, МПа, $[\sigma]$	172.

Розрахунок ведемо по методиці наведених в [36].

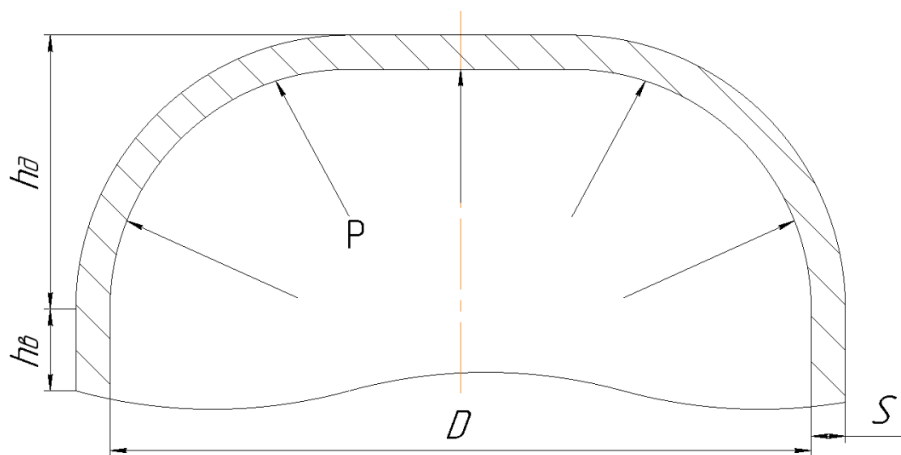


Рисунок 4.8 – Розрахункова схема еліптичного днища.

Для стандартних еліптичних днищ внутрішній радіус кривизни у вершині:

$$R_e = D = 1,2 \text{ м}$$

Розрахункова товщина стінки еліптичного днища:

$$S_{dR} = \frac{p_R \cdot R_e}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0,5 \cdot p_R} = \frac{0,1 \cdot 1,2}{2 \cdot 172 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,1} = 3,49 \cdot 10^{-4} \text{ м} \quad (4.1)$$

де $\varphi = 1$ – розрахунковий коефіцієнт міцності зварного шва для стикового з двобічним суцільним проваром, що виконується автоматичним або напівавтоматичним зварюванням за ГОСТ 14249-89.

Оскільки швидкість корозії:

$$v_{\text{кор}} \geq 5 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

то додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії та ерозії:

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

де $C_e = 0 \text{ м}$ – додаток, який враховується при переміщенні в апараті рідких середовищ зі швидкістю понад 20 м/с або газоподібних – понад 100 м/с.

Виконавча товщина стінки еліптичного днища у першому наближенні:

$$S = S_{dR} + C_1 + C_0 = 3,49 \cdot 10^{-4} + 1,25 \cdot 10^{-3} + 6,434 \cdot 10^{-3} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

де $C_0 = 6,434 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ – додаток до найближчої товщини стандартного днища, що відповідає технічним вимогам транспортування, монтажу та експлуатації.

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску:

$$C_2 = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Технологічний додаток до розрахункової товщини:

$$C_3 = 0 \text{ м}$$

Відношення суми додатків C_2 і C_3 до товщини S :

$$\frac{C_2 + C_3}{S} = \frac{0,8 \cdot 10^{-3} + 0}{0,8 \cdot 10^{-3}} = 0,1 > 0,05$$

Тоді сума додатків до розрахункової товщини:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 1,25 \cdot 10^{-3} + 0,8 \cdot 10^{-3} + 0 = 2,05 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (4.2)$$

Виконавча товщина стінки еліптичного днища:

$$S_d = S_{dR} + C + C_0 = 3,161 \cdot 10^{-4} + 2,05 \cdot 10^{-3} + 5,764 \cdot 10^{-3} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (4.3)$$

де $C_0 = 5,764 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ – додаток до найближчої товщини стандартного днища, що відповідає технічним вимогам транспортування, монтажу та експлуатації.

Висота еліптичного днища:

$$h_d = 0,25 \cdot D = 0,25 \cdot 1,2 = 0,3 \text{ м} \quad (4.4)$$

Перевірка умов застосування розрахункових формул:

$$\frac{S_d + C}{D} = \frac{8 \cdot 10^{-3} - 2,05 \cdot 10^{-3}}{1,2} = 8,38 \cdot 10^{-3}$$

$0,002 < 0,008 < 0,1$ – умова виконується.

Перевірка геометричної умови:

$$\frac{h_d}{D} = \frac{0,3}{1,2} = 0,25$$

$0,2 < 0,25 < 0,5$ – умова виконується.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (S - C)}{R_e + 0,5 \cdot (S - C)} = \frac{2 \cdot 172 \cdot 1 \cdot (8 \cdot 10^{-3} - 2,05 \cdot 10^{-3})}{1,2 + 0,5 \cdot (8 \cdot 10^{-3} - 2,05 \cdot 10^{-3})} = 1,7 \text{ Мпа} \quad (4.5)$$

Перевірка умови міцності:

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

$$0,1 \leq 1,7$$

Умова виконується, міцність забезпечена.

Висновок: На основі обраної методики виконано комп'ютерний розрахунок в середовищі Mathcad, сформовано послідовність обчислень і занасено отримані результати до блок схеми на рисунку Г.1 додатку Г. За підсумками розрахунку прийнято товщину стінки 8 мм, за якої виконується умова міцності..

4.8. Розрахунок штуцерів колони

Метою розрахунку – є обрання стандартних штуцерів для входу та виходу сировини.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.9.

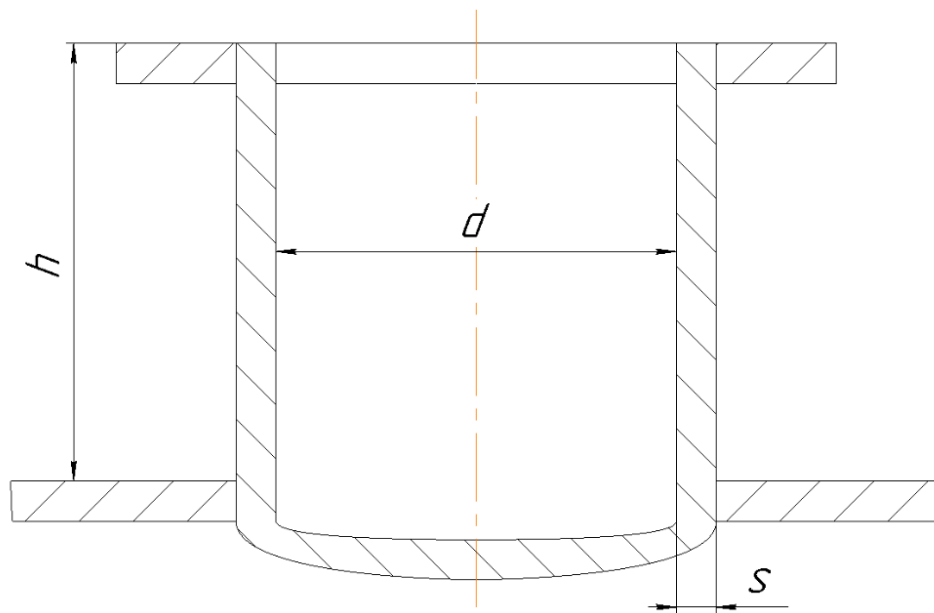


Рисунок 4.9 – Розрахункова схема штуцера.

Вихідні дані:

витрати суміші, кг/с, G_c	12;
швидкість суміші, м/с, ω_c	2;
середня густина суміші, кг/м ³ , ρ_c	758;
витрати рідини, кг/с, G_x	0,694;

швидкість рідини, м/с, ω_x	2,51;
середня густина рідини, кг/м ³ , ρ_x	870;
витрати пари, кг/с, G_y	1,258;
швидкість пари, м/с, ω_y	35;
середня густина пари, кг/м ³ , ρ_y	0,9;

Розрахунок ведемо по методиці наведених в [36].

Формула для визначення діаметрів штуцерів:

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

Вхід вихідної суміші:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 12}{3,14 \cdot 758 \cdot 2}} = 0,1 \text{ м}$$

приймаємо $\omega_c = 2$ м/с.

Приймаємо стандартний штуцер: $d_1 = 100$ мм за АТК 24,218,06-90.

Вихід парів дистилляту:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,258}{3,14 \cdot 0,9 \cdot 35}} = 0,170 \text{ м}$$

приймаємо $\omega = 35$ м/с.

Приймаємо стандартний штуцер за АТК 24,218,06-90: $d_2 = 170$ мм.

Подача зрошення:

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,694}{3,14 \cdot 870 \cdot 2,51}} = 0,0201 \text{ м}$$

приймаємо $\omega_x = 2$ м/с.

Приймаємо стандартний штуцер: $d_3 = 20$ мм.

Вихід кубової рідини:

$$d_4 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,694}{3,14 \cdot 870 \cdot 0,5}} = 0,0451 \text{ м}$$

приймаємо $\omega = 0,5 \text{ м/с}$.

Приймаємо стандартний штуцер: $d_4 = 45 \text{ мм}$.

Повернення парів кубової рідини:

$$d_5 = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,258}{3,14 \cdot 0,9 \cdot 35}} = 0,2255 \text{ м}$$

приймаємо $\omega = 35 \text{ м/с}$.

Приймаємо стандартний штуцер: $d_5 = 250 \text{ мм}$.

Таблиця 4.3 – Результати розрахунку штуцерів

Призначення штуцера	Діаметр, мм
Вхід сировини	100
Вихід парів дистилату	170
Подача зрошення	20
Вихід кубової рідини	45
Повернення парів кубової рідини	226

Висновок: за розрахунками обрано штуцери, які забезпечують необхідні швидкості руху теплоносіїв.

4.9. Розрахунок корпусу колони

Мета розрахунку – визначити товщину стінки циліндричної обичайки колони під дією внутрішнього тиску з урахуванням добавок на корозію та перевірити міцність.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.10.

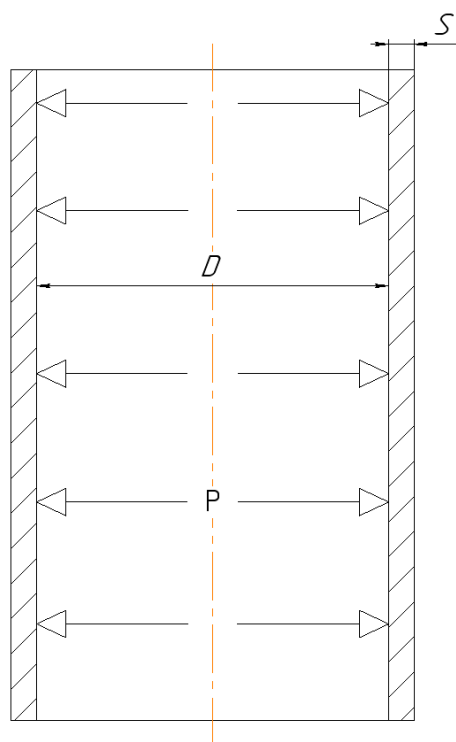


Рисунок 4.10 – Розрахункова схема циліндричної обичайки.

Вихідні дані:

розрахунковий тиск, МПа, P_R	0,101;
діаметр обичайки, м, D	1,2;
матеріал	12X18H10T;
допустиме напруження матеріалу, МПа, $[\sigma]$	172,5.

Розрахунок ведемо по методиці наведених в [35].

Розрахункова товщина стінки:

$$S_R = \frac{P_R \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P_R} = \frac{0,101 \cdot 1,2}{2 \cdot 172,5 \cdot 0,9 - 0,101} = 3,90 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

де $\varphi = 0,9$ – коефіцієнт міцності зварного шва.

Виконавча товщина стінки обичайки:

$$S = S_R + C_1 + C_2 + C_3 = 3,9 + 0,5 + 0,5 + 0 = 4,9 \text{ мм}$$

де C_1 – прибавка на корозію та ерозію: $C_1 = v \cdot \tau = 0,05 \cdot 10 = 0,5$ мм; v – швидкість корозії, мм/рік; τ – строк служби, років; C_2 – прибавка на мінусовий допуск, 0,5 мм; C_3 – технологічна прибавка, 0 мм.

Приймаємо $S = 8 \text{ мм}$ [16].

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (S - C)}{D + S - C} = \frac{2 \cdot 172,5 \cdot 0,9 \cdot (4 - 1)}{1200 + 4 - 1} = 0,774 \text{ МПа}$$

Перевірка умови міцності:

$$P \leq [P]$$

$$0,101 \text{ МПа} \leq 0,774 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується.

Висновок: за розрахунками було обрано товщину стін колони $S = 8 \text{ мм}$ та перевірено їх на міцність.

4.10. Розрахунок опори колони

Мета – визначення параметрів опорної обичайки колони ректифікації в залежності від діаметра та ваги колони. Опора циліндрична, виконання В.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.11.

Вихідні дані:

матеріал опори	12X18H10T;
густина сталі, кг/м^3 , $\rho_{\text{ст}}$	7920;
діаметр колони, м, D	1,2;
вид опори	циліндрична;
виконання опори	В;
товщина циліндричної обичайки, м, S	0,008;
висота колони, м, H	10,2;
маса фланців, кг, $M_{\text{фл}}$	400;
густина рідини, кг/м^3 , $\rho_{\text{води}}$	998.

Розрахунок ведемо по методиці наведений в [36].

Схему розрахунку наведено на рисунку 4.11.

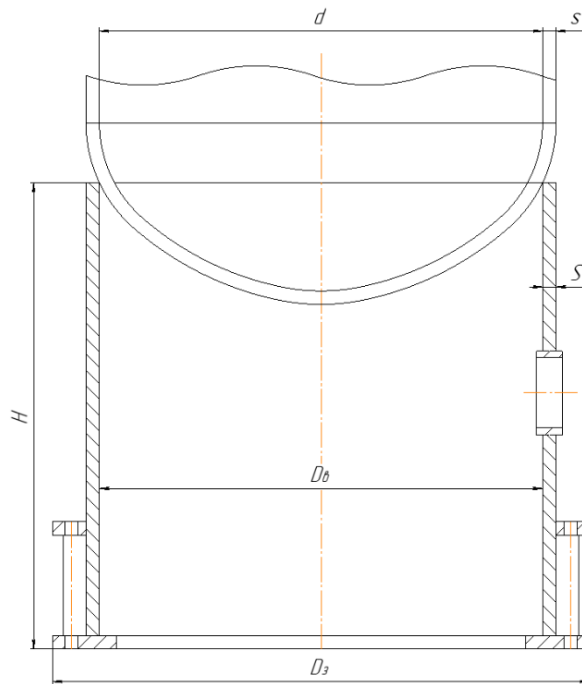


Рисунок 4.11. – Розрахункова схема опорної обичайки.

Маса корпусу колони:

$$M_k = h_k \cdot \pi \cdot D \cdot S \cdot \rho_{ст} = 10,2 \cdot 3,14 \cdot 1,2 \cdot 0,004 \cdot 7920 = 1218 \text{ кг}$$

Маса кришки та днища колони:

$$M_{кр} = M_{дн} = 150 \text{ кг}$$

Маса порожнього апарата:

$$M_{ап} = (M_k + 2 \cdot M_{кр} + M_{фл}) \cdot 1,3 = (1218 + 2 \cdot 150 + 400) \cdot 1,3 = 2494 \text{ кг}$$

Навантаження порожнього апарата:

$$Q_{ап} = M_{ап} \cdot g = 2494 \cdot 9,81 = 24500 \text{ Н} = 0,0245 \text{ МН}$$

Об'єм апарата:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot h_k = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} \cdot 10,2 = 11,54 \text{ м}^3$$

Маса води в апараті:

$$M_v = V \cdot \rho_{води} = 11,54 \cdot 998 = 11513 \text{ кг}$$

Навантаження апарата на опори під час гідравлічних випробувань:

$$Q_{an}^u = (M_{an} + M_B)g = (2494 + 11513) \cdot 9,81 = 137000 \text{ Н} = 0,137 \text{ МН}$$

Висновок: виходячи з розрахунків маємо $Q_{max} = 0,137 \text{ НМ}$, $Q_{min} = 0,0245 \text{ НМ}$, тому циліндричну опору обираємо, згідно ОСТ 26-467-78, типу 3.

4.11. Розрахунок фланців колони

Метою розрахунку – є перевірка з'єднання та герметичності фланців, а також вибір їх типу.

Розрахункова схема наведена на Рисунку 4.12.

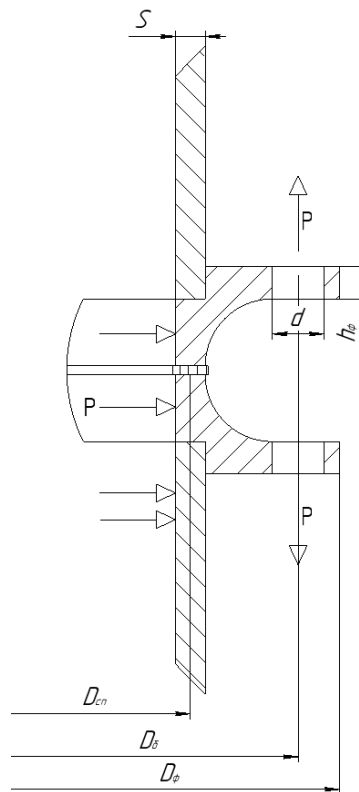


Рисунок 4.12. – Розрахункова схема фланцевого з'єднання.

Вихідні дані:

Параметри фланця (обрано за [37]):

внутрішній діаметр, м, D	1,2;
діаметр фланця, м, D_{ϕ}	1,35;
діаметр болтового кола, м, D_B	1,31;

матеріал	12X18H10T;
товщина, м, $h_{\phi 1} = h_{\phi 2}$	0,075;
допустиме напруження, МПа, $[\sigma]_{\phi}^{20} = [\sigma]_{\phi}^t$	172;
модуль пружності, МПа, E_{ϕ}^t	$1,89 \cdot 10^5$;
коефіцієнт відносного лінійного розширення, K^{-1} , α_{ϕ}^t	$16,6 \cdot 10^{-6}$;
внутрішній тиск, МПа, $P_{тр}$	0,14;
Параметри прокладки:	
зовнішній діаметр, м, $D_{п}$	1,28;
ширина, м, b	0,014;
товщина, м, h	0,002;
матеріал	пароніт;
допустиме питоме навантаження, МПа, q	130;
коефіцієнт, m	2,5;
модуль пружності, МПа, $E_{пр}^t$	200;
Параметри болтів:	
кількість, $z_{Б}$	48;
діаметр різьби, м, $d_{Б}$	0,033;
внутрішній діаметр, м, $d_{0Б}$	0,034;
матеріал	Ст35;
мінімальне питоме навантаження, МПа, $q_{Б}$	20;
допустиме напруження при 20°C, МПа, $[\sigma]_{Б}^{20}$	130;
допустиме напруження при роб. темп., МПа, $[\sigma]_{Б}^t$	126;
модуль пружності, МПа, $E_{Б}^t$	$1,89 \cdot 10^5$;
коефіцієнт відносного лінійного розширення, K^{-1} , $\alpha_{Б}^t$	$16,6 \cdot 10^{-6}$;

Розрахунок ведемо по методиці наведених в [37].

Середній діаметр прокладки:

$$D_{\text{сп}} = D_{\text{п}} - b = 1,28 - 0,014 = 1,266 \text{ м}$$

де $D_{\text{п}}$ – зовнішній діаметр прокладки; b – ширина прокладки.

Ефективна ширина прокладки:

$$b_e = 0,06 \cdot \sqrt{b} = 0,06 \cdot \sqrt{0,014} = 7,09 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Конструктивний коефіцієнт фланців:

$$K_{\phi} = \frac{D_{\phi}}{D} = \frac{1,35}{1,2} = 1,125$$

Конструктивні коефіцієнти $\lambda_{\phi 1}, \lambda_{\phi 2}$:

$$\lambda_{\phi x} = \frac{h_{\phi x}}{\sqrt{D \cdot S_0}}$$

$$\lambda_{\phi 1} = \lambda_{\phi 2} = \frac{h_{\phi 1}}{\sqrt{D \cdot S_0}} = \frac{0,075}{\sqrt{1,2 \cdot 0,004}} = 1,08$$

Поправкові коефіцієнти для фланців:

$$\psi_{1\phi} = 1,28 \cdot \lg(K_{\phi}) = 1,28 \cdot \lg(1,125) = 0,065$$

$$\psi_{2\phi} = \frac{K_{\phi} + 1}{K_{\phi} - 1} = \frac{1,125 + 1}{1,125 - 1} = 17$$

$$\psi_3 = 1 \text{ (для перерізу } S_0 \text{)}.$$

Геометричні параметри фланців:

$$j_{\phi x} = \frac{h_{\phi x}}{S_0}$$

$$j_{\phi 1} = j_{\phi 2} = \frac{h_{\phi 1}}{S_0} = \frac{0,075}{0,004} = 18,75$$

Безрозмірні параметри фланців:

$$\begin{aligned} T_{\phi} &= \frac{K_{\phi}^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K_{\phi}) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K_{\phi}^2) \cdot (K_{\phi} - 1)} = \\ &= \frac{1,125^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 1,125) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot 1,125^2) \cdot (1,125 - 1)} = 1,87 \end{aligned}$$

$$\omega_{\phi x} = [1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi x} \cdot (1 + \psi_{\phi x} \cdot j_{\phi x}^2)]^{-1}$$

$$\omega_{\phi 1} = [1 + 0,9 \cdot 1,08 \cdot (1 + 0,065 \cdot 18,75^2)]^{-1} = 4,10 \cdot 10^{-2}$$

$$\omega_{\phi 2} = [1 + 0,9 \cdot 1,08 \cdot (1 + 0,065 \cdot 18,75^2)]^{-1} = 1,72 \cdot 10^{-4}$$

Кутова піддатливість фланців:

$$y_{\phi 1} = y_{\phi 2} = \frac{(1 - \omega_{\phi 1} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1})) \cdot \psi_{\phi 1}}{h_{\phi 1}^3 \cdot E_{\phi}} =$$

$$= \frac{(1 - 0,04098 \cdot (1 + 0,9 \cdot 1,08)) \cdot 0,065}{0,075^3 \cdot 1,89 \cdot 10^5} = 7,55 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{МН} \cdot \text{м}}$$

Розрахункова довжина болтів:

$$L_{\text{Б}} = h_{\phi 1} + h_{\phi 2} + h + 0,28 \cdot d_{\text{Б}} =$$

$$= 0,075 + 0,075 + 0,002 + 0,28 \cdot 0,033 = 0,168 \text{ м}$$

Лінійна піддатливість прокладки:

$$y_{\text{п}} = \frac{h}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b \cdot E_{\text{п}}} = \frac{0002}{3,14 \cdot 1,266 \cdot 0,014 \cdot 200} = 1,8 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{МН} \cdot \text{м}}$$

Площа поперечного перерізу одного болта:

$$f_{\text{Б}} = 0,785 \cdot d_0^2 = 0,785 \cdot 0,034^2 = 9,08 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Лінійна піддатливість болтів:

$$y_{\text{Б}} = \frac{L_{\text{Б}}}{E_{\text{Б}} \cdot f_{\text{Б}} \cdot z_{\text{Б}}} = \frac{0,159}{1,89 \cdot 10^5 \cdot 9,08 \cdot 10^{-4} \cdot 48} = 3,57 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{МН} \cdot \text{м}}$$

Параметр жорсткості фланцевого з'єднання:

$$A_{\phi} = [y_{\text{п}} + y_{\text{Б}} + 0,25 \cdot (y_{\phi 1} + y_{\phi 2}) \cdot (D_{\text{Б}} - D_{\text{сп}})^2]^{-1} =$$

$$= [1,8 \cdot 10^{-4} + 3,57 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (2 \cdot 7,55 \cdot 10^{-4}) \cdot (1,31 - 1,266)^2]^{-1}$$

$$= 4,63 \cdot 10^3 \frac{1}{\text{МН} \cdot \text{м}}$$

Параметри жорсткості фланців:

$$B_{\phi x} = y_{\phi x} \cdot (D_{\text{Б}} - D - S_0)$$

$$B_{\phi 1} = B_{\phi 2} = 7,55 \cdot 10^{-4} \cdot (1,31 - 1,2 - 0,004) = 8 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{МН} \cdot \text{м}}$$

Безрозмірні коефіцієнти жорсткості:

$$\gamma = A_{\phi} \cdot y_{\text{Б}} = 4630 \cdot 3,57 \cdot 10^{-5} = 0,165$$

$$\alpha_{\phi} = A_{\phi} \cdot [y_{\text{Б}} + 0,25 \cdot (B_{\phi 1} + B_{\phi 2}) \cdot (D_{\text{Б}} - D_{\text{сп}})] =$$

$$= 4630 \cdot [3,57 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (2 \cdot 8 \cdot 10^{-5}) \cdot (1,31 - 1,266)] = 0,173$$

Розрахунок болтів:

Рівнодіюча зовнішнього тиску на прокладку:

$$Q_{\Gamma} = 0,785 \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot p = 0,785 \cdot 1,266^2 \cdot 0,14 = 0,176 \text{ МН}$$

Реакція прокладки в робочих умовах:

$$R_{\Pi} = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{е}} \cdot m \cdot p = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,266 \cdot 7,09 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5 \cdot 0,14$$

$$= 1,98 \cdot 10^{-2} \text{ МН}$$

Зусилля від температурної деформації фланцевого з'єднання:

$$Q_{\text{тф}} = \gamma \cdot z_{\text{Б}} \cdot f_{\text{Б}} \cdot E_{\text{Б}} \cdot (\alpha_{\phi}^t \cdot t_{\phi} - \alpha_{\text{Б}}^t \cdot t_{\text{Б}})$$

$$= 0,165 \cdot 48 \cdot 9,08 \cdot 10^{-4} \cdot 1,89 \cdot 10^5 \cdot 4,56 \cdot 10^{-5} = 0,062 \text{ МН}$$

Монтажне болтове навантаження (три варіанти):

$$P'_{\text{Б1}} = \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{е}} \cdot q = \pi \cdot 1,266 \cdot 7,09 \cdot 10^{-3} \cdot 130 = 3,67 \text{ МН}$$

$$P''_{\text{Б1}} = \alpha_{\phi} \cdot (Q_{\Gamma} + P) + R_{\Pi} = 0,173 \cdot 0,176 + 0,0198 = 5,03 \cdot 10^{-2} \text{ МН}$$

$$P'''_{\text{Б1}} = 0,4 \cdot [\sigma_{\text{Б}}]^{20} \cdot z_{\text{Б}} \cdot f_{\text{Б}} = 0,4 \cdot 160 \cdot 48 \cdot 9,08 \cdot 10^{-4} = 2,79 \text{ МН}$$

Розрахункове монтажне навантаження:

$$P_{\text{Б1}} = \max(P'_{\text{Б1}}; P''_{\text{Б1}}; P'''_{\text{Б1}}) = \max(3,67; 0,050; 1,51) = 3,67 \text{ МН}$$

Болтове навантаження за робочих умов:

$$P_{\text{Б2}} = P_{\text{Б1}} + (1 - \alpha_{\phi}) \cdot (Q_{\Gamma} + P) + Q_{\text{тф}} =$$

$$= 3,67 + (1 - 0,173) \cdot 0,177 + 0,062 = 3,88 \text{ МН}$$

Розрахункове болтове навантаження:

$$P_{\text{Бф}} = \max(P_{\text{Б1}}; P_{\text{Б2}}) = \max(3,67; 3,88) = 3,88 \text{ МН}$$

Напруження розтягання в болтах:

$$\sigma_{\text{Б}}^{20} = \frac{P_{\text{Б1}}}{z_{\text{Б}} \cdot f_{\text{Б}}} = \frac{3,67}{48 \cdot 9,08 \cdot 10^{-4}} = 84 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{Б}}^t = \frac{P_{\text{Б2}}}{z_{\text{Б}} \cdot f_{\text{Б}}} = \frac{3,88}{48 \cdot 9,08 \cdot 10^{-4}} = 89 \text{ МПа}$$

Скручуючий момент від розтягування гайок:

$$M_{\text{скр}} = f_1 \cdot \frac{P_{\text{БФ}}}{z_{\text{Б}}} \cdot d_{\text{Б}} = 0,2 \cdot \frac{3,88}{48} \cdot 0,033 = 3,88 \cdot 10^{-4} \text{ НМ} \cdot \text{м}$$

Дотичні напруження в болтах:

$$\tau_{\text{Б}} = \frac{M_{\text{скр}}}{0,2 \cdot d_0^3} = \frac{3,88 \cdot 10^{-4}}{0,2 \cdot 0,034^3} = 49 \text{ МПа}$$

Еквівалентні напруження в болтах:

$$\sigma_{\text{БЕ}}^x = \sqrt{(\sigma_{\text{Б}}^x)^2 + 3 \cdot \tau_{\text{Б}}^2}$$

$$\sigma_{\text{БЕ}}^{20} = \sqrt{84^2 + 3 \cdot 49^2} = 120 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{БЕ}}^t = \sqrt{89^2 + 3 \cdot 49^2} = 123 \text{ МПа}$$

Умови міцності болтів:

$$\sigma_{\text{БЕ}}^{20} \leq [\sigma_{\text{Б}}]^{20}$$

$$120 \leq 130$$

$$\sigma_{\text{БЕ}}^t \leq [\sigma_{\text{Б}}]^t$$

$$123 \leq 126$$

Умова міцності виконується.

Розрахунок фланців:

Приведені згинаючі моменти у діаметральному перерізі фланців:

$$\begin{aligned} M_{01\phi} &= 0,5 \cdot P_{\text{Б1}} \cdot (D_{\text{Б}} - D_{\text{сп}}) = 0,5 \cdot 3,67 \cdot (1,31 - 1,266) \\ &= 8,08 \cdot 10^{-2} \text{ НМ} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{02\phi} &= 0,5 \cdot [P_{\text{Б2}} \cdot (D_{\text{Б}} - D_{\text{сп}}) + Q_{\text{Г}} \cdot (D_{\text{сп}} - D - S_0)] \cdot \frac{[\sigma_{\phi}]_{20}}{[\sigma_{\phi}]_t} = \\ &= 0,5 \cdot [3,85 \cdot 0,044 + 0,176 \cdot (1,266 - 1,2 - 0,004)] \cdot 1 = 9,01 \cdot 10^{-2} \text{ НМ} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{0\phi} &= \max(M_{01\phi}; M_{02\phi}) = \max(8,08 \cdot 10^{-2}; 9,01 \cdot 10^{-2}) \\ &= 9,01 \cdot 10^{-2} \text{ НМ} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

Максимальні напруження в перерізі S_0 фланців:

$$\sigma_{0\phi x} = \psi_3 \cdot \frac{T_\phi \cdot M_{0\phi} \cdot \omega_{\phi x}}{D \cdot (S_0 - C)^2}$$

$$\sigma_{0\phi 1} = 1 \cdot \frac{1,87 \cdot 9,01 \cdot 10^{-2} \cdot 4,10 \cdot 10^{-2}}{1,2 \cdot 0,004^2} = 360 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{0\phi 2} = 1 \cdot \frac{1,87 \cdot 9,01 \cdot 10^{-2} \cdot 1,72 \cdot 10^{-4}}{1,2 \cdot 0,004^2} = 1,51 \text{ МПа}$$

Кільцеві напруження в дисках фланців:

$$\sigma_{K\phi x} = \frac{M_{0\phi} \cdot [1 - \omega_{\phi x} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi x})] \cdot \psi_{2\phi}}{D \cdot h_{\phi x}^2}$$

$$\sigma_{K\phi 1} = \frac{9,01 \cdot 10^{-2} \cdot [1 - 4,10 \cdot 10^{-2} \cdot (1 + 0,9 \cdot 1,08)] \cdot 17}{1,2 \cdot 0,075^2} = 209 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{K\phi 2} = \frac{9,01 \cdot 10^{-2} \cdot [1 - 1,72 \cdot 10^{-4} \cdot (1 + 0,9 \cdot 1,08)] \cdot 17}{1,2 \cdot 0,075^2} = 227 \text{ МПа}$$

Радіальні та окружні напруження від тиску:

$$\sigma_{x\phi 1} = \sigma_{x\phi 2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (S_0 - C)} = \frac{0,14 \cdot 1,2}{2 \cdot 0,004} = 21 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{y\phi 1} = \sigma_{y\phi 2} = \frac{p \cdot D}{4 \cdot (S_0 - C)} = \frac{0,14 \cdot 1,2}{4 \cdot 0,004} = 10,5 \text{ МПа}$$

Еквівалентні напруження у втулках фланців:

$$\sigma_{E\phi x} = \sqrt{(\sigma_{0\phi x} + \sigma_{y\phi x})^2 + \sigma_{x\phi x}^2 - (\sigma_{0\phi x} + \sigma_{y\phi x}) \cdot \sigma_{x\phi x}}$$

$$\sigma_{E\phi 1} = \sqrt{(356,2 + 10,5)^2 + 21^2 - (356,2 + 10,5) \cdot 21} = 360 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{E\phi 2} = \sqrt{(1,49 + 10,5)^2 + 21^2 - (1,49 + 10,5) \cdot 21} = 18,3 \text{ МПа}$$

Умови міцності фланців:

$$\sigma_{E\phi 1} \leq [\sigma_{\phi 1}^{S_0}] \cdot \varphi$$

$$356,2 \leq 567 \cdot 0,9 = 510,3$$

$$\sigma_{E\phi 2} \leq [\sigma_{\phi 2}^{S_0}] \cdot \varphi$$

$$18,2 \leq 567 \cdot 0,9 = 510,3$$

де $[\sigma_{\phi 1}^{S_0}] = [\sigma_{\phi 2}^{S_0}] = 0,003 \cdot E_{\phi}^t = 0,003 \cdot 1,89 \cdot 10^5 = 567 \text{ МПа}$, $\varphi = 0,9$.

Умова міцності виконується.

Умови герметичності:

$$\frac{\sigma_{\text{к}\phi 1} \cdot D}{h_{\phi 1} \cdot E_{\phi 1}} \leq [\theta]$$

$$\frac{209 \cdot 1,2}{0,075 \cdot 1,89 \cdot 10^5} = 1,77 \cdot 10^{-2} \leq 0,02$$

$$\frac{\sigma_{\text{к}\phi 2} \cdot D}{h_{\phi 2} \cdot E_{\phi 2}} \leq [\theta]$$

$$\frac{227 \cdot 1,2}{0,075 \cdot 1,89 \cdot 10^5} = 1,92 \cdot 10^{-2} \leq 0,02$$

де $[\theta] = 0,02$ для $D \leq 2 \text{ м}$.

Умова герметичності виконується.

Висновок: було обрано стандартний фланець для колони та перевірено його на міцність.

4.12. Розрахунок вітрового навантаження колони

Метою розрахунку – є визначення розрахункового вітрового навантаження на корпус ректифікаційної колони з урахуванням висоти її встановлення, її геометричних розмірів та кліматичних умов району розташування.

Розрахункова схема наведена на Рисунку 4.13.

Вихідні дані:

діаметр колони, м, D	1,2;
висота колони, м, H	10,2;
маса колони, кг, $M_{\text{кл}}$	4000;

матеріал

12X18H10T;

допустиме напруження, МПа, $[\sigma]$

172;

робочий тиск, МПа, Р

0,101;

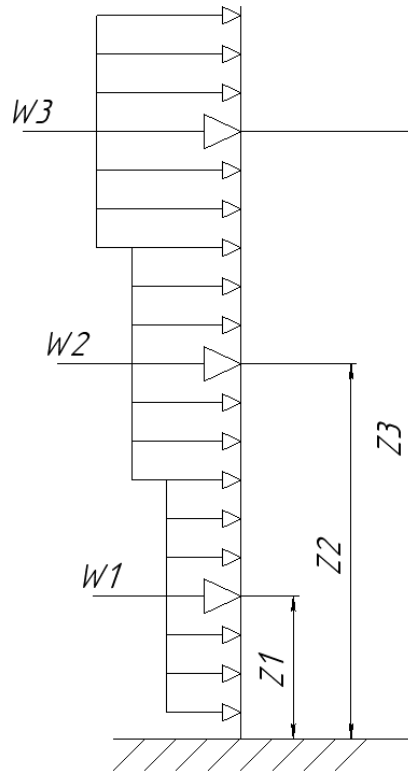


Рисунок 4.13. – Розрахункова схема фланцевого з'єднання.

Розрахунок ведемо по методиці наведених в [36].

Розділимо апарат на $z = 5$ ділянок з висотою $h = 2,04$ м. Вага кожної з них:

$$G_i = G/z = 37280/5 = 7456 \text{ Н}$$

Центр ваги кожної ділянки приймаємо розташованим посередині ділянки. Нумерація ділянок проводиться зверху. Відстань x до центра ваги:

$$x_1 = 9,18; x_2 = 7,14; x_3 = 5,10; x_4 = 3,06; x_5 = 1,02$$

Момент інерції перерізу фундаменту:

$$J_f = 1,3 \cdot J_k = 1,3 \cdot \frac{\pi}{64} \cdot D_k^4 = 1,3 \cdot \frac{3,14}{64} \cdot 1,102^4 = 0,132 \text{ м}^4$$

Момент інерції основного верхнього металевого перерізу колони (кільцевий переріз):

$$J_1 = \frac{\pi}{64} \cdot ((D_1 + 2S_4 - 2C)^4 - D^4) = \\ = \frac{3,14}{64} \cdot ((1,208 + 2 \cdot 0,01 - 2 \cdot 0,006)^4 - 1,2^4) = 2,74 \cdot 10^{-3} \text{ м}^4$$

Оскільки колона має постійний переріз, приймаємо:

$$J_1 = J_2 = J_3$$

Період основного тону коливань стержня постійного перерізу з жорсткою закладкою:

$$T_0 = 1,8 \cdot H \cdot \sqrt{\frac{G \cdot H}{g \cdot E \cdot J_1}} = \\ = 1,8 \cdot 10,2 \cdot \sqrt{\frac{3,73 \cdot 10^4 \cdot 10,2}{9,81 \cdot 1,98 \cdot 10^{11} \cdot 2,74 \cdot 10^{-3}}} = 0,155 \text{ с}$$

Період основного тону власних коливань пружно защемленого стержня постійного перерізу розраховується за формулою:

$$T = T_0 \cdot \sqrt{1 + \frac{4E \cdot J_1}{H \cdot C_f \cdot J_f}} = \\ = 0,155 \cdot \sqrt{1 + \frac{4 \cdot 1,98 \cdot 10^{11} \cdot 2,74 \cdot 10^{-3}}{10,2 \cdot 10^8 \cdot 0,132}} = 0,733 \text{ с}$$

Грунти середньої щільності:

$$C_f = 10^8 \text{ Н/м}^3$$

Для подальших розрахунків за діаграмами за методикою [36] визначаємо коефіцієнти:

$$\mu = 2; \quad \Delta = 2,6; \quad \lambda = 2,35$$

Коефіцієнт γ :

$$\gamma = \frac{2}{H} \cdot (H^3(\Delta + \mu) + H^3 \cdot \mu + 2 \cdot H_1 \cdot H_2 \cdot H_3) =$$

$$= \frac{2}{16,8} \cdot (16,8^3(2,6 + 2) + 16,8^3 \cdot 2 + 2 \cdot 16,8 \cdot 16,8 \cdot 16,8) = 17,2$$

Коефіцієнт β_i для кожної з ділянок також визначаємо за діаграмою за методикою [36]:

$$\beta_1 = 0,848; \quad \beta_2 = 0,558; \quad \beta_3 = 0,305; \quad \beta_4 = 0,116; \quad \beta_5 = 0,012$$

Відносне переміщення центрів ваги ділянок:

$$\alpha_i = \gamma \cdot \frac{H}{2E \cdot J_1} \cdot \beta_i + \frac{x_i}{H \cdot C_f \cdot J_f}$$

$$\alpha_1 = 1,69 \cdot 10^{-6}; \quad \alpha_2 = 1,30 \cdot 10^{-6}; \quad \alpha_3 = 9,10 \cdot 10^{-7};$$

$$\alpha_4 = 5,35 \cdot 10^{-7}; \quad \alpha_5 = 1,65 \cdot 10^{-7}$$

Коефіцієнт θ_i , що враховує зміну швидкісного напору по висоті апарата, визначаємо за графіком методикою [36]:

$$\theta_1 = 1; \quad \theta_2 = 1; \quad \theta_3 = 1; \quad \theta_4 = 1; \quad \theta_5 = 1$$

На висоті нижче 10 м приймаємо $\theta = 1$; $q_0 = 350 \text{ Н/м}^2$ – нормативний швидкісний напір для м. Київ.

Нормативне значення статичної складової вітрового навантаження по середині i -ї ділянки:

$$q_{ist} = q_0 \cdot \theta_i \cdot k$$

$$q_{1st} = q_0 \cdot \theta_1 \cdot k = 350 \cdot 1 \cdot 0,7 = 245 \text{ Н/м}^2$$

$$q_{2st} = 258; \quad q_{3st} = 245; \quad q_{4st} = 245; \quad q_{5st} = 245 \text{ Н/м}^2$$

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

Статична складова на i -й ділянці (з урахуванням діаметра D_i та висоти ділянки h_i):

$$P_{ist} = q_{ist} \cdot D_i \cdot h_i$$

У нашому прикладі діаметри та висоти однакові: $D_i = 1,2 \text{ м}$, $h_i = 2,04 \text{ м}$

Статична складова для першої ділянки:

$$P_{1st} = 245 \cdot 1,2 \cdot 2,04 = 600 \text{ Н}$$

Для інших ділянок:

$$P_{2st} = P_{3st} = P_{4st} = P_{5st} = 600 \text{ Н}$$

Коефіцієнт пульсацій швидкісного напору для середини i -ї ділянки визначаємо за графіком за методикою [36]:

$$m_1 = 0,58; \quad m_2 = 0,59; \quad m_3 = m_4 = m_5 = 0,6$$

Приведене відносне прискорення центра ваги i -ї ділянки:

$$\eta_i = \alpha_i \cdot \frac{\Sigma(\alpha_i \cdot m_i \cdot P_{ist})}{\Sigma(\alpha_i^2 \cdot G_i)}$$

Для першої ділянки:

$$\eta_1 = 1,69 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1,628 \cdot 10^{-3}}{4,241 \cdot 10^{-8}} = 0,065$$

$$\eta_2 = 0,05; \quad \eta_3 = 0,035; \quad \eta_4 = 0,021; \quad \eta_5 = 6,334 \cdot 10^{-3}$$

Безрозмірний параметр ε :

$$\varepsilon = \frac{T \cdot \sqrt{q_0}}{840} = \frac{0,733 \cdot \sqrt{350}}{840} = 0,016$$

За таблицею за методикою [36] при $\varepsilon < 0,05$ та $H = 10,2$ м отримуємо коефіцієнт кореляції пульсацій швидкості вітру:

$$\nu = 0,7$$

Коефіцієнт динамічності ζ визначаємо за графіком за методикою [36]:

$$\zeta = 1,25$$

Динамічна складова вітрового навантаження на i -й ділянці:

$$P_{idyn} = \nu \cdot G_i \cdot \zeta \cdot \eta_i$$

На першій ділянці:

$$P_{1dyn} = \nu \cdot G_1 \cdot \zeta \cdot \eta_1 = 0,7 \cdot 7456 \cdot 1,25 \cdot 0,065 = 424 \text{ Н}$$

На інших ділянках:

$$P_{2dyn} = 326; \quad P_{3dyn} = 228; \quad P_{4dyn} = 137; \quad P_{5dyn} = 41$$

Повне вітрове навантаження на першій та наступних ділянках:

$$P_1 = P_{1dyn} + P_{1st} = 424 + 600 = 1024 \text{ Н}$$

$$P_2 = 926 \text{ Н}; \quad P_3 = 828 \text{ Н}; \quad P_4 = 737 \text{ Н}; \quad P_5 = 641 \text{ Н}$$

Вигинаючий момент:

Відстань від розрахункового перерізу до рівня опорної обичайки:

$$x_0 = 1,5 \text{ м}$$

Момент M_v обчислюємо за формулою:

$$M_v = \Sigma P_i (x_i - x_0)$$

Для $n = 5$ ділянок:

$$M_v = 1,69 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Вигинаючий момент M_j в розрахунковому перерізі на висоті x_0 від діючого вітрового навантаження на j -ту площадку визначається за формулою:

$$M_j = 0,85 \cdot q_0 \cdot \theta_j \cdot (x_j - x_0) \cdot (1 + 0,75 \cdot \zeta \cdot m_j \cdot x_j) \cdot A_j$$

Коефіцієнти m_j та θ_j для відповідних висот визначаємо за графіками за методикою [36]:

$$m_{j1} = 0,6 \left(\frac{x_1}{23} \right)^{-0,16} = 0,6 \left(\frac{9,18}{23} \right)^{-0,16} = 0,695$$

$$m_{j2} = 0,6 \left(\frac{x_2}{15} \right)^{-0,16} = 0,6 \left(\frac{7,14}{15} \right)^{-0,16} = 0,676$$

$$\theta_{j1} = \left(\frac{x_1}{23} \right)^{0,32} = \left(\frac{9,18}{23} \right)^{0,32} = 0,745$$

$$\theta_{j2} = \left(\frac{x_2}{15} \right)^{0,32} = \left(\frac{7,14}{15} \right)^{0,32} = 0,789$$

Вигинаючий момент у перерізі на висоті $x_0 = 1,5$ м:

$$\begin{aligned} M_j &= 0,85 \cdot 350 \cdot 0,745 \cdot (9,18 - 1,5) \cdot (1 + 0,75 \cdot 1,5 \cdot 0,695 \cdot 9,18) \\ &\quad \cdot 2,5 + 0,85 \cdot 350 \cdot 0,789 \cdot (7,14 - 1,5) \\ &\quad \cdot (1 + 0,75 \cdot 1,25 \cdot 0,676 \cdot 7,14) \cdot 2,5 = 4,8 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

Сумарний вигинаючий момент у розрахунковому перерізі:

$$M_1 = M_v + M_j = 1,69 \cdot 10^4 + 4,8 \cdot 10^4 = 6,491 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Перевірка міцності корпусу:

Меридіональні напруження на повітряній стороні:

$$\begin{aligned}\sigma_{N1} &= \frac{P(D + S)}{4(S - C)} + \frac{F}{\pi D(S - C)} + \frac{4M}{\pi D^2(S - C)} = \\ &= \frac{-0,101(1,2 + 0,004)}{4(0,004 - 0,002)} + \frac{0,34}{3,14 \cdot 1,2(0,004 - 0,002)} + \\ &\quad + \frac{4 \cdot 0,113}{3,14 \cdot 1,2^2(0,004 - 0,002)} = 79 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}\end{aligned}$$

Напруження σ_{N2} на підвітряній стороні:

$$\begin{aligned}\sigma_{N2} &= \frac{P(D + S)}{4(S - C)} + \frac{F}{\pi D(S - C)} - \frac{4M}{\pi D^2(S - C)} = \\ &= \frac{-0,101(1,2 + 0,004)}{4(0,004 - 0,002)} + \frac{0,34}{3,14 \cdot 1,2(0,004 - 0,002)} - \\ &\quad - \frac{4 \cdot 0,113}{3,14 \cdot 1,2^2(0,004 - 0,002)} = -20 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}\end{aligned}$$

Кільцеве напруження:

$$\sigma_t = \frac{P(D + S)}{2(S - C)} = \frac{-0,101(1,2 + 0,004)}{2(0,004 - 0,002)} = -30,4 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

Еквівалентне напруження на повітряній стороні:

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

При $\varphi_N = 1, \varphi_T = 0,9$:

$$\sigma_{N2} = \sqrt{79,85^2 - 56,773 \cdot (-30,4) \cdot \frac{0,9}{1} + \left((-30,4) \cdot \frac{0,9}{1}\right)^2} = 24,54 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

Еквівалентне напруження на підвітряній стороні:

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{екв1}} &= \sqrt{\sigma_{N2}^2 - \sigma_{N2} \cdot \sigma_t \cdot \frac{\varphi_T}{\varphi_N} + \left(\sigma_t \cdot \frac{\varphi_T}{\varphi_N}\right)^2} = \\ &= \sqrt{24,54^2 - 24,54 \cdot (-30,4) \cdot \frac{0,9}{1} + \left((-30,4) \cdot \frac{0,9}{1}\right)^2} = 44,9 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}\end{aligned}$$

Перевірка умов міцності на повітряній стороні:

$$\sigma_{\text{екв1}} \leq [\sigma]$$

$$44,9 \leq 172$$

Для підвітряного боку:

$$\sigma_{N2} \leq [\sigma]$$

$$24,54 \leq 172$$

Отже умова міцності виконується.

Розрахунок стійкості:

Допустиме осьове стискуjące зусилля з умови місцевої стійкості в межах пружності:

$$[F]_{E1} = \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_{\gamma}} \cdot D^2 \cdot \left[\frac{100(S - C)}{D} \right]^2 \cdot \sqrt{\frac{100(S - C)}{D}}$$

$$[F]_{E1} = \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot 1,94 \cdot 10^5}{2,4} \cdot 1,2^2 \cdot \left[\frac{100(0,004 - 0,002)}{1,2} \right]^2 \cdot \sqrt{100 \frac{(0,004 - 0,002)}{1,2}} = 4,092 \text{ МН}$$

Гнучкість колони:

$$\lambda = \frac{2,83 \cdot H}{D + S - C} = \frac{2,83 \cdot 10,2}{1,2 + 0,004 - 0,002} = 24,015$$

Допустиме осьове стискуjące зусилля з умови стійкості в межах пружності:

$$\begin{aligned} [F]_{E2} &= \frac{\pi (D + S - C)(S - C) \cdot E}{n_{\gamma}} \cdot \left(\frac{\pi}{\lambda} \right)^2 = \\ &= \frac{\pi (1,2 + 0,004 - 0,002)(0,004 - 0,002) \cdot 1,94 \cdot 10^5}{2,4} \cdot \left(\frac{3,14}{24,015} \right)^2 \\ &= 10,447 \text{ МН} \end{aligned}$$

Допустиме осьове стискуjące зусилля з умови стійкості приймаємо як мінімум із двох значень:

$$[F]_E = \min\{ [F]_{E1}; [F]_{E2} \} = \min\{ 4,092 ; 10,447 \} = 4,092 \text{ МН}$$

Допустиме осьове стискуjące зусилля з умови міцності:

$$\begin{aligned} [F]_p &= \pi \cdot (D + S - C) \cdot (S - C) \cdot [\sigma] = \\ &= (1,2 + 0,004 - 0,002) \cdot (0,004 - 0,002) \cdot 172 = 1,299 \text{ МН} \end{aligned}$$

Допустиме осьове стискуjące зусилля:

$$[F] = \frac{[F]_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_p}{[F]_E}\right)^2}} = \frac{1,299}{\sqrt{1 + \left(\frac{1,299}{4,092}\right)^2}} = 1,238 \text{ МН}$$

Допустимий згинаючий момент з умов міцності:

$$[M]_p = \frac{D}{4} \cdot [F]_p = \frac{1,2}{4} \cdot 1,299 = 0,39 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Допустимий згинаючий момент з умов стійкості:

$$[M]_E = \frac{D}{3,5} \cdot [F]_{E1} = \frac{1,2}{3,5} \cdot 4,092 = 1,403 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Допустимий згинаючий момент:

$$[M] = \frac{[M]_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_p}{[M]_E}\right)^2}} = \frac{0,39}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,39}{1,403}\right)^2}} = 0,375 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Перевірка колони на стійкість:

$$\frac{M}{[M]} + \frac{F}{[F]} = \frac{0,113}{0,375} + \frac{0,146}{1,238} = 0,419 < 1$$

Умова стійкості виконується.

Висновок: у результаті розрахунку визначено розрахунковий вітровий тиск та повне вітрове навантаження на корпус ректифікаційної колони, а також відповідні згинальні моменти.

5. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях є ключовими елементами функціонування будь-якого промислового об'єкта, особливо у галузях, пов'язаних із високотемпературними та високотисковими процесами. Забезпечення належного рівня безпеки має важливе значення:

- соціальне: незадовільний стан охорони праці призводить до накопичення соціальної напруги, формує негативні настрої робітників та спричиняє політичну нестабільність.
- економічне: недостатня увага до безпеки спричиняє збитки для виробництва та підприємств.
- гуманітарне: неякісна безпека також проявляється у випадках травмування, професійних захворювань чи загибелі працівників.

Це все підкреслює необхідність якісного забезпечення охорони праці на всіх етапах виробничого процесу.

Предметом даної магістерської роботи є ректифікаційна колона та парогенератор, які входять до складу установки виробництва метанолу, і особливістю такого обладнання є робота під підвищеним тиском, наявність перегрітої пари, висока температура поверхонь та оброблюваних середовищ, а також необхідність забезпечення герметичності й стабільної циркуляції теплоносія. До конструктивних елементів, що мають значення для розробки питань охорони праці, належать: корпус колони, її тарілки, теплообмінні вузли, трубопроводи пари, запобіжна арматура, контрольно-вимірювальні прилади та допоміжні комунікації. Значний вплив на умови експлуатації також мають температура та тиск у системі, робота з легкозаймистими та токсичними речовинами, можливість утворення вибухонебезпечних сумішей, а також наявність джерел теплового та механічного впливу.

Саме ці характеристики визначають перелік питань, які потребують розробки відповідних технічних рішень у межах розділу охорони праці.

У даному розділі наведено рішення щодо безпечної експлуатації обладнання, вимоги до санітарно-гігієнічних умов та заходи безпеки в надзвичайних ситуаціях відповідно до методичних рекомендацій [38][39].

5.1. Технічні рішення щодо безпечної експлуатації обладнання

Технічні рішення з охорони праці при експлуатації ректифікаційної колони та парогенератора розроблені з урахуванням вимог чинних нормативних документів щодо безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском, парових і водогрійних котлів, трубопроводів пари та гарячої води, а також тепломеханічного обладнання хімічних виробництв [39, 40, 41].

Проектом передбачено такі основні технічні рішення:

- Забезпечення міцності й герметичності обладнання: корпуси ректифікаційної колони та парогенератора, а також пов'язані з ними трубопроводи розраховано як посудини та трубопроводи, що працюють під тиском, з урахуванням робочого та розрахункового тиску, температури та можливого корозійного зносу. Конструкція, товщина стінок, типи матеріалів та зварних з'єднань відповідають вимогам правил будови й безпечної експлуатації парових і водогрійних котлів, посудин під тиском та трубопроводів пари й гарячої води. Перед введенням в експлуатацію передбачено гідравлічні випробування на міцність та щільність [40].
- Рациональне розміщення обладнання та зон обслуговування: ректифікаційну колону та парогенератор розміщено з урахуванням вимог безпечності промислових підприємств: забезпечено достатні

проходи, зручний доступ до арматури, запобіжних та контрольно-вимірювальних пристроїв, а також до вузлів обслуговування [42, 43].

- Площадки, сходи та огороження: для обслуговування верхніх рівнів колони передбачено стаціонарні обслуговуючі площадки, оснащені огороженнями, бортовими порогами та сходами, що відповідають вимогам безпеки промислових підприємств [42, 43].
- Теплоізоляція нагрітих поверхонь: поверхні парогенератора, труб і ділянок колони з підвищеною температурою покриті теплоізоляційними матеріалами, вибраними згідно з Правилами техніки безпеки та правилами експлуатації теплових установок [44, 45].
- Компенсація теплових деформацій: у схемі трубопроводів пари та теплоносія передбачені компенсатори й гнучкі вставки, що знижують рівень напружень у стінках труб і зварних з'єднаннях при зміні температури, у відповідності до вимог правил будови та експлуатації посудин під тиском і трубопроводів пари й гарячої води [40].
- Запобіжна та регулююча арматура: на парогенераторі, трубах та відповідних ділянках колони встановлено запобіжні клапани, засувки, регулюючу арматуру й прилади контролю, параметри спрацювання яких визначені за вимогами [40, 44].
- Оглядові люки та засоби контролю процесу: передбачені оглядові люки, штуцери для відбору проб, точки встановлення датчиків тиску, температури та рівня. Вимоги до розміщення засобів контролю враховано відповідно до [42, 43].
- Автоматизація та блокування: роботу ректифікаційної колони та парогенератора передбачено здійснювати в автоматизованому режимі з використанням системи контролю й регулювання, що обмежує участь персоналу у небезпечних зонах. Введені технологічні блокування, які забезпечують автоматичне відключення подачі теплоносія чи скидання

тиску при виході параметрів за допустимі межі, відповідно до вимог [40, 44].

- Організація вантажно-підіймальних робіт: монтаж, демонтаж та плановий ремонт вузлів колони й парогенератора виконуються із застосуванням вантажопідіймальних засобів та допоміжних пристроїв, з урахуванням безпечної організації робочих місць і маршрутів переміщення вантажів, відповідно до загальних вимог [39, 42].
- Огородження небезпечних зон і попереджувальна сигналізація: небезпечні зони біля гарячих поверхонь, можливих місць витоку пари чи продуктів, а також місця розташування рухомих частин допоміжного обладнання огорожені або промарковані згідно з вимогами [42, 43]. На видимих місцях розташовані попереджувальні знаки, написи та схеми, що сприяють орієнтації персоналу й запобіганню помилковим діям.

Електробезпека під час експлуатації ректифікаційної колони та парогенератора забезпечується відповідно до вимог [46, 47, 48, 49, 50, 51].

Електроспоживачі (насоси, вентилятори, компресори, прилади контролю й автоматики) живляться від трифазної чотирипровідної мережі 380/220 В з глухозаземленою нейтраллю, що відповідає вимогам ПУЕ та нормам експлуатації електроустановок до 1000 В [46, 48].

Проектом передбачено такі основні рішення з електробезпеки:

- Запобігання контакту з нормально струмоведучими частинами: ізоляція струмоведучих частин з опором ізоляції не менше нормативних значень, розміщення відкритих струмоведучих частин у недосяжних місцях або в окремих зачинених шафах, використання огорожень, блокувальних пристроїв та закритих клемних з'єднань, попереджувальні знаки, маркування, написи, сигнальна індикація – відповідно до вимог електробезпеки промислових підприємств, прокладання кабельних ліній

у металевих лотках, трубах або закритих каналах для запобігання випадковому контакту та механічним пошкодженням [46, 50].

- Запобігання ураженню при переході напруги на неструмоведучі частини (аварійний режим): захисне занулення корпусів електрообладнання, під'єднання їх до нульового захисного провідника, повторне заземлення нульового провідника, яке знижує напругу дотику в аварійних режимах, правильний вибір автоматичних вимикачів та плавких запобіжників: забезпечення нормативної кратності струму короткого замикання для гарантованого спрацювання захисту, контроль цілісності нульового проводу та достатньої площі його перерізу, захисне заземлення як альтернативний або додатковий засіб для ділянок, де занулення неможливе або неефективне (окремі металеві конструкції, резервні лінії) [46, 50].
- Електрозахисні засоби: діелектричні рукавички, калоші, килимки та ізолювальні підставки, індикатори напруги, переносні заземлення, штанги оперативні, використання пристроїв захисного відключення (ПЗВ, дифавтомати) в зонах підвищеної небезпеки, періодична перевірка стану ізоляції електрообладнання та електрозахисних засобів [48, 49].

Реалізація наведених технічних рішень забезпечує безпечну експлуатацію ректифікаційної колони та парогенератора в нормальних і можливих аварійних режимах, зменшує ризики травмування персоналу та сприяє дотриманню чинних вимог охорони праці.

5.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

Ректифікаційна колона та парогенератор використовуються в установці синтезу метанолу. Обладнання розміщене у стандартному промисловому

приміщенні орієнтовною площею 180-200 м², частково автоматизоване і не передбачає постійного перебування персоналу безпосередньо біля працюючої апаратури.

Умови роботи визначаються впливом таких потенційно шкідливих факторів:

- повітря робочої зони (вологість, температура, можливі пари технологічних рідин);
- мікроклімат та теплове випромінювання від нагрітих поверхонь;
- шум та вібрації від роботи насосів, компресорів та руху пари;
- виробниче освітлення;

Подальші технічні рішення в межах підрозділу спрямовані на забезпечення нормативних умов гігієни праці для технологічного приміщення та для зон постійного перебування персоналу.

Мікроклімат

Мікроклімат виробничого приміщення, у якому експлуатуються ректифікаційна колона та парогенератор, визначається підвищеною температурою поверхонь і наявністю локальних теплових потоків. Відповідно до [52] параметри, що нормуються включають: температуру відносну вологість повітря та швидкість руху повітря.

Оптимальні параметри мікроклімату для умов легкої роботи (Іа) в приміщенні відповідно за [52] наведені в таблиці 5.1.

Забезпечення нормативного мікроклімату досягається:

- роботою системи опалення та припливно-витяжної вентиляції.
- теплоізоляцією гарячих поверхонь колони, парогенератора та паропроводів.

- розміщення робочих зон виконано так, щоб мінімізувати тепловий вплив на персонал.

Таблиця 5.1. – Оптимальні параметри мікроклімату

Період року	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/с
Холодний період	22-24	60-40	0,1
Теплий період	23-25	60-40	0,1

Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично допустимими концентраціями (ГДК) в мг/ м³ [53].

У технологічному приміщенні можливе утворення підвищеної вологості та поява домішок у разі порушення герметичності трубопроводів чи елементів колони. В таких умовах, можливими забруднювачами повітря можуть бути:

- водяна пара.
- гази на стадіях ректифікації.
- пари метанолу.

Їх ГДК відповідно до дорівнюють: водяна пара – не нормується; гази на стадіях ректифікації – 9-20 мг/м³; пари метанолу – 5 мг/м³.

Для забезпечення задовільного складу повітря передбачені наступні рішення:

- забезпечення працездатності вентиляції з регулярним оглядом.
- перевірка герметичність обладнання.
- контроль вологість повітря.

- застосування засобів індивідуального захисту органів дихання (респіратори, дихальні маски) у випадках аварійних ситуацій або парових викидів.

Виробниче освітлення

Природне освітлення

Для умов експлуатації ректифікаційної установки в м. Київ обрана зорова робота високої точності, що відповідає розряду IIIa за [54]. Тоді розрахункове нормоване значення КПО для даного приміщення:

$$e_{\text{нр}} = e_{\text{н}} \cdot t = 0,7 \cdot 0,9 = 0,63\%$$

де: $e_{\text{н}}$ – нормоване значення КПО згідно з даними таблиць 1 та 2 [54], t – коефіцієнт світлового клімату згідно з даними таблиці 4 [54].

Для забезпечення нормативного значення КПО передбачено:

- розташування віконних прорізів у напрямку південного та південно-східного секторів для забезпечення рівномірної природної освітленості;
- застосування світловідбивальних внутрішніх поверхонь (стіни та стеля світлих тонів);
- відсутність затінення робочих зон великогабаритним обладнанням;
- регулярна очистка вікон.

Штучне освітлення

Нормується абсолютна величина освітленості $E_{\text{н}}$ в люксах [54]. Для умов, що розглядаються у проекті, з урахуванням розряду зорової роботи IIIa та застосування системи загального рівномірного освітлення приймається нормативне значення освітленості: $E_{\text{н}} = 200$ лк.

Для забезпечення наведених значень $E_{\text{н}}$:

ЛМ4.1МП.14.100.001	Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 98
--------------------	------------	--------------	------------	-------------

- система загального рівномірного освітлення на основі світлодіодних світильників промислового типу;
- застосування світильників із світловим потоком 6000–8000 лм;
- рівномірне розташування джерел світла над проходами та технологічними зонами;
- встановлення кількості світильників за формулою: $n = \frac{S \cdot E}{F \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 200}{7000 \cdot 0,6} = 9,52 \approx 10$

Виробничий шум

Для умов експлуатації ректифікаційної колони та парогенератора, де оператори працюють у технологічному приміщенні та приміщеннях керування, рівні шуму мають відповідати вимогам ГС (граничних спектрів). Рівні L та L_a не повинні перевищувати допустимих значень, наведених у табл. 5.2.

Таблиця 5.2. – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму [55, 56]

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах частот із середньгеометричними значеннями (Гц)									Допустимий рівень звуку (ДБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Основні виробничі приміщення	103	95	88	82	77	74	72	70	68	85
Приміщення щитових, кабін керування, спостереження тощо	93	84	76	70	66	63	60	58	55	65

У розглядуваному технологічному приміщенні джерелами шуму є:

- робота насосів подачі та циркуляції теплоносіїв;
- рух пари у трубопроводах високого тиску;
- вібраційні процеси у корпусі ректифікаційної колони;
- функціонування арматури (клапани, редуктори, засувки);
- допоміжні механізми (вентилятори, компресори).

Очікувані рівні звукового тиску відповідають характеристикам типових джерел шуму (ШХ) і становлять 70-82 дБА, що не перевищує нормативи для основних виробничих зон, але потребує застосування засобів зниження шуму у місцях підвищеної інтенсивності.

Для забезпечення відповідності шумових параметрів нормативним значенням у приміщенні передбачено:

- встановлення насосів та компресорів на антивібраційних амортизаторах.
- використання шумопоглинальних кожухів на обладнанні, що створює високочастотний шум.
- розміщення оглядових майданчиків поза зонами максимального шумового тиску.
- своєчасне обслуговування підшипників, муфт, обертових вузлів.
- забезпечення персоналу засобами індивідуального захисту слуху.
- обмеження часу перебування у зонах шуму понад 80 дБА.

Виробничі вібрації

Джерелами вібрації в умовах, що розглядаються в проєкті, є робота насосного обладнання (подача та циркуляція теплоносіїв), коливання корпусу ректифікаційної колони та парогенератора, а також вібрація трубопроводів пари та конденсату, що передається на металоконструкції та робочі площадки.

Можливі параметри вібрацій, виходячи із вібраційних характеристик технологічного обладнання, знаходяться в межах значень, наведених для загальної технологічної вібрації (категорія 3, тип А). При середньгеометричних частотах 2; 4; 8; 16; 31,5; 63 Гц рівні віброшвидкості становлять орієнтовно $1,3 \cdot 10^{-2}$; $0,45 \cdot 10^{-2}$; $0,63 \cdot 10^{-2}$; $0,56 \cdot 10^{-2}$; $0,56 \cdot 10^{-2}$; $0,56 \cdot 10^{-2}$ м/с, що відповідає рівням віброшвидкості 108; 99; 102; 101; 101; 101 дБ відповідно [56].

Для умов, технологічні вібрації стаціонарного обладнання, тривалість дії до 8 год за зміну, діапазон частот 2-63 Гц, напрямки дії X, Y, Z, параметри вібрацій не повинні перевищувати:

- по віброшвидкості: $0,56 \cdot 10^{-2}$ м/с.
- по віброприскоренню: орієнтовно ≈ 12 м/с².
- по рівню віброшвидкості: 92 дБ.

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено:

- встановлення амортизаторів під насосами, опорами трубопроводів та вузлами кріплення обладнання.
- балансування та центрування валів обертових машин.
- жорстке закріплення металоконструкцій для запобігання резонансним коливанням.
- організація режимів праці з обмеженням часу перебування персоналу у зонах з підвищеним рівнем вібрації відповідно до вимог [58].

Виробничі випромінювання

Основним видом виробничих випромінювань у приміщенні є лише теплове випромінювання, що виникає при роботі парогенератора, гарячих трубопроводів і поверхонь ректифікаційної колони. Його нормування та допустимі значення було розглянуто в розділі 5.2.1. і здійснюється згідно з [52].

Для зниження шкідливого впливу передбачено такі рішення:

- теплоізоляцію всіх нагрітих поверхонь.
- розміщення робочих місць у зонах з мінімальною тепловою дією.
- використання вентиляції та повітрообміну.
- застосування спеціального захисного одягу для робіт біля гарячих елементів.

- обмеження часу перебування персоналу поблизу джерел інтенсивного теплового випромінювання.

5.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях

Ректифікаційна колона та парогенератор установки синтезу метанолу працюють при підвищених температурах, високому тиску, а також із горючими та токсичними технологічними середовищами (суміші метанолу, водяна пара, продуктова та сировинна газова фаза).

Потенційні небезпеки:

- розгерметизація апаратів і трубопроводів.
- витік горючих газів.
- займання або вибух пароповітряної суміші.
- перегрів у парогенераторі.
- аварійне зростання тиску в колоні.

З урахуванням вибухопожежних характеристик технологічних речовин [59] приміщення належить до категорії Б (вибухопожежонебезпечні), а робочі зони – до В-Ia/В-Iб залежно від джерела газів.

Технічні та організаційні заходи щодо ліквідації /локалізації/ аварійних ситуацій

Технічні заходи щодо аварійних ситуацій:

- Запобіжні клапани та розривні мембрани на колоні та парогенераторі для автоматичного скидання надлишкового тиску відповідно до вимог [39].
- Дистанційно керована відсічна арматура на ключових трубопроводах забезпечує швидке перекриття подачі пари, теплоносія або газових сумішей відповідно до вимог безпечної експлуатації тепловикористовуючих установок [41].

- Аварійні датчики контролю параметрів (тиску, температури, концентрації парів метанолу) виконані за вимогами до промислової безпеки та безпечності підприємств [42].
- Аварійна вентиляція, що вмикається при перевищенні ГДК речовин, виконується згідно з вимогами безпеки робочої зони [53].
- Системи аварійного відключення обладнання та автоматичні блокування встановлені відповідно до вимог технічної експлуатації теплових установок [44].
- Термоізоляція та антикорозійний захист обладнання виконані відповідно до вимог безпеки теплоізоляційних робіт [45].
- Вибухові мембрани або підірвні клапани на корпусах апаратів застосовуються згідно з вимогами вибухобезпеки [59].

Організаційні заходи проводимі щодо аварійних ситуацій:

- Розроблено ПЛАС — План локалізації і ліквідації аварійних ситуацій згідно з вимогами охорони праці та промислової безпеки [39, 42].
- Навчання та інструктаж персоналу щодо дій у надзвичайних ситуаціях проводиться відповідно до [39].
- Робочі місця забезпечені ЗІЗ (протигази, теплоізоляційні рукавиці, вогнестійкий одяг) згідно з вимогами [39].
- Організація евакуаційних шляхів, резервного освітлення та маркування виконується згідно з нормами пожежної безпеки [59].
- Всі вузли аварійного управління (вентиляція, відсічна арматура, аварійні вимикачі) позначені згідно з вимогами технічної експлуатації [44].

Технічні рішення системи запобігання пожеж та вибухів

Система запобігання пожежі базується на виключенні хоча б одного з трьох факторів: горюча речовина, окислювач, або джерело запалювання.

Технічні рішення для усунення одного з цих факторів такі:

ЛМ4.1МП.14.100.001	Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 103
--------------------	------------	--------------	------------	--------------

- Герметизація трубопроводів та обладнання, що запобігає утворенню вибухонебезпечних газових сумішей, виконується згідно з вимогами технічної безпеки [59].
- Інертизація апаратів азотом під час пуску/зупинки установки проводиться відповідно до вимог пожежної безпеки для вибухонебезпечних середовищ [59].
- Антистатичний захист – заземлення металоконструкцій, колон, трубопроводів, платформ обслуговування – виконується відповідно до вимог електробезпеки [46, 50].
- Використання вибухозахищеного електрообладнання згідно з вимогами експлуатації електроустановок у вибухонебезпечних зонах [47, 59].
- Обмеження кількості горючих речовин у межах технологічного приміщення до мінімально необхідних запасів – згідно з нормами пожежної безпеки [59].
- Негорюча теплоізоляція обладнання виконується згідно з вимогами до теплоізоляційних робіт [45].
- Автоматичне блокування технологічних процесів при перевищенні температури/тиску проводиться згідно з вимогами технічної експлуатації [40, 44].

Технічні рішення системи протипожежного захисту

Система протипожежного захисту забезпечує виявлення, локалізацію та гасіння пожежі, а також безпеку персоналу. Для запобігання пожежам запропоновано такі рішення:

- Система виявлення пожежі: автоматична пожежна сигналізація (датчики диму, температури, полум'я, газоаналізатори парів метанолу) виконується згідно з нормами систем протипожежного захисту [59].

Передача сигналу на пункт управління передбачена відповідно до вимог експлуатації обладнання [44].

- Система пожежогасіння: модульні системи газового або порошкового пожежогасіння застосовуються у зонах можливого займання – згідно з вимогами [59].
- Протидимовий захист: система аварійної димовидалення з протидимними клапанами вмикається автоматично за сигналом пожежної служби – відповідно до вимог [59].
- Будівельні та конструктивні вимоги: вогнестійкість конструкцій – не нижче REI 45, відповідно до вимог пожежної безпеки промислових приміщень [59].
- Первинні засоби пожежогасіння: вогнегасники ВП-5, ВП-9, ВВК-5, пожежні крани – згідно з вимогами комплектації об'єктів [59].

6. Рекомендації, щодо монтажу та експлуатації апаратів установки виробництва метанолу

Для безпечної та ефективної роботи ректифікаційної колони й парогенератора необхідно заздалегідь ознайомитися з інструкціями з монтажу, експлуатації та технічною документацією до обладнання: схемами, кресленнями, специфікаціями та паспортами. Усі вказівки наведено згідно [60].

Вказівки до транспортування:

- Фіксація обладнання виконується згідно схеми стропування, вказаній у кресленнях:
 - парогенератор: використовуються лебідки, які кріпляться під кутом 100° між собою, підтримують апарат горизонтально прикріплюючись до зовнішніх сторін його лівої опори та крайньої нижньої труби.
 - ректифікаційна колона: підтримується вертикально з використанням трьох лебідок, які кріпляться до трьох верхніх труб колони між кожною з яких 120° .
- Забороняється транспортування апарату способами які можуть його пошкодити, або створити небезпечні ситуації для робітників: переміщення за патрубки, штуцери, клапани чи інші елементи, вібраційне транспортування без амортизації, перевезення в умовах, що можуть призвести до корозії.
- Вантажопідйомність транспортних засобів та підйомної техніки має перевищувати масу апарату із запасом.

Невиконання цих вказівок може призвести до деформації корпусу, мікротріщин у зварних швах, розгерметизації фланців, а також до травм серед працівників.

Вказівки до монтажу:

- Фундамент має витримувати вагу апаратів у робочому стані, а поверхня повинна бути рівною та забезпечувати вертикальність встановлення.
- Під час встановлення колону встановлюють вертикально, а парогенератор горизонтально, перевіряючи рівність у двох площинах; всі з'єднання з дефлегматором, кубом, конденсатором та теплообмінниками виконують за технологічною схемою; герметизація фланців здійснюється лише якісними прокладками, сумісними з температурою та середовищем.
- Впродовж усього процесу монтажу потрібно дотримуватися правил безпеки.

Після завершення монтажу необхідно виконати теплоізоляцію парогенератора та ректифікаційної колони, але лише після проведення випробувань на міцність та герметичність. Нанесення теплоізоляції до випробувань може призвести до необхідності її повного демонтажу у випадку виявлення витоків у зварних швах.

Теплоізоляцію наносять на попередньо очищені та підготовлені поверхні, після чого покривають захисним покриттям з відповідних матеріалів. Після завершення робіт необхідно перевірити якість теплоізоляції шляхом вимірювання температури на поверхні покриття.

Після теплоізоляції виконуються такі тести:

- Зовнішній огляд;
- Гідравлічне випробування на міцність;
- Перевірка щільності з'єднань.

Ці перевірки, а також технічне обслуговування, повинні виконуватися регулярно, щоб запобігти несправностям та аваріям.

У разі непроходження тестів необхідно:

- Провести додатковий огляд;
- Виконати ремонт;
- Замінити пошкоджені елементи.

Апарати повинні мати вільний доступ для технічного обслуговування та ремонту, а до роботи допускаються лише кваліфіковані працівники, які ознайомлені з інструкціями та технічною документацією.

Вказівки щодо експлуатації:

- Забороняється проводити будь-яке обслуговування (огляд, ремонт) під час роботи апарата.
- Необхідно дотримуватися всіх правил безпеки.
- Контроль за основними параметрами (тиск, температура тощо) повинен бути безперервним. У разі виходу параметрів за межі допустимих значень слід негайно вжити відповідних заходів.

Вказівки до примусової зупинки апарата:

Примусова зупинка виконується у разі:

- перевищення допустимих параметрів роботи;
- виявлення пошкоджень або дефектів, які можуть спричинити аварію;
- зовнішніх факторів, що можуть призвести до пошкодження апарата або травмування персоналу (пожежа, стихійне лихо тощо).

7. Рівень стандартизації та уніфікації

Стандартизація спрямована на впорядкування продукції, норм і вимог шляхом їх уніфікації та скорочення зайвої різноманітності. Завдяки цьому підвищується якість виробів, а їх конструктивні параметри та правила експлуатації набувають чіткої визначеності, що суттєво спрощує процеси проєктування та виготовлення обладнання [61].

Одним із ключових та найефективніших інструментів стандартизації є уніфікація. Вона полягає у зменшенні кількості однотипних деталей за рахунок приведення їх до спільних форм, розмірів, способів виготовлення, а також єдиної структури чи матеріального складу. Уніфікація не лише оптимізує конструювання та виробництво, а й спрощує ремонт обладнання та мінімізує потребу у великих запасах комплектувальних елементів.

Рівень стандартизації та уніфікації визначається тим, наскільки конструкція насичена відповідними типами деталей. За специфікаціями обох апаратів загальна кількість елементів становить $N = 1011$ шт., серед яких $N_{\text{ст}} = 334$ шт. відносяться до стандартних, $N_{\text{унф}} = 670$ шт. є уніфікованими, а $N_{\text{унк}} = 7$ шт. становлять унікальні деталі.

Коефіцієнти уніфікації та стандартизації визначаються на основі відповідних розрахунків:

$$K_{\text{ст}} = \frac{N_{\text{ст}}}{N} = \frac{334}{1011} = 0,33 \text{ - коефіцієнт стандартизації}$$

$$K_{\text{унф}} = \frac{N_{\text{унф}}}{N} = \frac{670}{1011} = 0,66 \text{ - коефіцієнт уніфікації}$$

Висновок: На основі специфікацій визначено загальну кількість елементів апарата та обчислено відповідні коефіцієнти: коефіцієнт стандартизації $K_{\text{ст}} = 0,33$ і коефіцієнт уніфікації $K_{\text{унф}} = 0,66$.

8. Стартап-проект

Об'єктом стартап-проекту є модифіковані ковпачки для тарілчастих ректифікаційних колон, що застосовуються у процесах синтезу метанолу та інших хімічних виробництвах, де використовуються тарілчасті колони з ковпачковими тарілками [62, 63].

Ключова ідея полягає в зміні геометрії прорізів у ковпачку: замість традиційних вертикальних прорізів застосовуються похилі (кут $45-60^\circ$) прорізи, які під час виходу газу з ковпачка формують більш інтенсивний, турбулентний газовий потік. Це призводить до:

- кращого диспергування газу в шарі рідини на тарілці;
- збільшення міжфазної поверхні «газ-рідина»;
- інтенсифікації масообміну без радикальної зміни конструкції тарілки чи колони.

При цьому загальна конструкція тарілки та колони зберігається без змін: зміні підлягають лише самі ковпачки, що знижує необхідні капітальні витрати на модернізацію обладнання, а постачання і встановку самих ковпачків може пропонувати наша ж компанія.

8.1. Опис ідеї проекту

Концепція стартап-проекту передбачає, що команда розробника:

- налагоджує власне виробництво модифікованих ковпачків (за умови успішних результатів дослідно-промислових випробувань);
- здійснює інженерний підбір, постачання та монтаж ковпачків на діючих колонах замовника;

- може надавати сервісні послуги з модернізації «під ключ» (від розрахунків до введення в експлуатацію).

Зведена характеристика ідеї стартап-проєкту подана в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1. – Опис ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Продаж та послуги установки особисто розробленої, та запатентованої модифікації ковпачків тарілчастих ректифікаційних колон для підвищення ефективності їх роботи.	1. Колони синтезу та очищення метанолу в хімічній промисловості	Підвищення ефективності колони (збільшення ступеня розділення або еквівалентної кількості теоретичних тарілок) без заміни корпусу колони.
	2. Ректифікаційні колони органічного синтезу	Можливість збільшення продуктивності діючих колон або покращення якості цільового продукту без суттєвого збільшення енергоспоживання.
	3. Колони нафтопереробки та газопереробки з тарілчастими контактними пристроями	Інтенсифікація масообмінних процесів без повної заміни внутрішнього устрою колони; зменшення втрат легких фракцій; підвищення гнучкості роботи колони в умовах зміни сировини.
	4. Модернізація діючих колон на підприємствах	Зниження капітальних витрат та часу на модернізацію за рахунок заміни лише ковпачків; скорочення тривалості простою обладнання; можливість виконання всіх робіт (виготовлення, поставка, монтаж) однією спеціалізованою командою розробника.
	5. Нові проєкти тарілчастих колон, що проєктуються з нуля	Закладання підвищеної ефективності колони ще на стадії проєктування; зменшення розрахункової висоти колони або кількості теоретичних тарілок при досягненні заданого ступеня розділення; оптимізація капітальних та експлуатаційних витрат, включно з можливістю одержати готовий комплект контактних пристроїв із сервісом їх установки.

Наведені дані узагальнюють зміст ідеї стартап-проєкту, сфери її застосування та ключові вигоди для користувачів. Такий підхід дозволяє чітко окреслити ціннісну пропозицію проєкту та показати, яким чином модифіковані ковпачки можуть забезпечити підвищення ефективності роботи

тарілчастих ректифікаційних колон без радикальної заміни існуючого обладнання.

На ринку в даний момент переважають стандартні ковпачки з вертикальними прорізами, а також інші типи контактних пристроїв (ковпачкові тарілки класичних конструкцій, клапанні тарілки, насадкові колони тощо). Порівняння ідеї стартапу з конкурентними товарами наведено в таблиці 8.2.

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

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Ковпачкові тарілки	Клапанні тарілки	Насадкові колони			
1	Складність модернізації	Легка	Середня	Середня	Складна			X
2	Ефективність тарілки	Підвищена	Стандартна	Стандартна	Підвищена			X
3	Складність виготовлення	Підвищена	Стандартна	Стандартна	Стандартна	X		
4	Собівартість виготовлення	Стандартна	Стандартна	Стандартна	Підвищена		X	

Проведений в таблиці 8.2. аналіз дозволяє виділити:

Сильні сторони проекту:

- Легка модернізація існуючих колон
- Висока ефективність модернізованих тарілок

Слабкі сторони проекту:

- Складність широкого виготовлення ковпачків оскільки їх модель не являється стандартизованою.

Таким чином, ідея стартап-проекту може розглядатися як інструмент легкої модернізації діючих ректифікаційних колон, що поєднує технологічну

доцільність (підвищення ефективності масообміну) із прийнятними витратами на впровадження [62, 63, 65].

8.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Для практичної реалізації стартап-проекту важливо перевірити, чи існують на ринку технології, що дозволяють виготовляти модифіковані ковпачки без створення принципово нового виробництва. Узагальнену оцінку технологічної здійсненності проекту та доступних варіантів виготовлення модифікованих ковпачків наведено в таблиці 8.3.

Таблиця 8.3. – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Модифіковані ковпачки для тарілчастих ректифікаційних колон з похилими прорізами	Технологія 1. Серійне штампування та витягування з листової нержавіючої сталі з подальшим виконанням прорізів (штампом або пробиванням) за новою геометрією.	Потрібне лише виготовлення/адаптація штампового оснащення під нову форму прорізів.	Доступна через кооперацію з машинобудівними підприємствами або спеціалізованими цехами; можлива реалізація у вигляді контрактного виробництва серійних партій.
2	Модифіковані ковпачки для тарілчастих ректифікаційних колон з похилими прорізами	Технологія 2. Лазерне (або плазмове) різання та гнуття з листового металу для малих та дослідних партій.	Не потребує принципово нових рішень, лише підготовки креслень/CAD-моделі деталі.	Доступна авторам проекту через численні сервісні компанії, що надають послуги лазерного різання та гнуття; підходить для дослідних та малосерійних партій.
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Технологія 1. Серійне штампування з нержавіючої сталі				

З урахуванням аналізу з таблиці 8.3, основним технологічним шляхом реалізації ідеї проекту доцільно вважати серійне штампування з нержавіючої

сталі (Технологія 1) із виготовленням нового штампового оснащення для формування похилих прорізів.

За результатами технологічного аудиту можна зробити такі висновки:

- технології, необхідні для виготовлення модифікованих ковпачків, вже існують на ринку й не потребують створення принципово нових виробничих процесів.
- проект потребує розробки конструкторської документації та виготовлення спеціалізованої оснастки (штампи, програмне забезпечення для лазерного різання), проте це є стандартною задачею для машинобудівних підприємств.
- для авторів проекту технології є реалістично доступними через аутсорсинг виробництва (контрактні виробники, сервісні компанії металообробки, університетські лабораторії).

8.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Для обґрунтування доцільності виходу на ринок необхідно оцінити його розміри, структуру та динаміку розвитку. Ключові показники стану потенційного ринку модифікованих ковпачків для тарілчастих ректифікаційних колон зведено в таблиці 8.4.

Таблиця 8.4. – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту [73, 74, 75].

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	2	3
1	Кількість головних гравців, од	Обмежена, 10-15
2	Загальний обсяг продаж, млрд.дол/рік	3,2-8,2
3	Динаміка ринку	Помірне зростання

Продовження таблиці 8.4.

4	Наявність обмежень для входу	Високі бар'єри входу: довготривалі цикли ухвалення інвестиційних рішень на підприємствах, потреба в репутації.
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Вимоги до матеріалів і конструкцій згідно з галузевими стандартами для тискових апаратів та хімічного обладнання, відповідність нормам промислової безпеки.
6	Середня норма рентабельності в галузі, %	8-15%

За результатами попередньої оцінки можна зробити висновок, що ринок має обмежену кількість гравців, але характеризується стабільним або помірно зростаючим попитом на рішення, що підвищують ефективність та енергоощадність процесів. Бар'єри для входу є суттєвими, але продукт, який дозволяє проводити модернізацію з мінімальним втручанням у обладнання, відповідає поточним тенденціям на ринку. Тому ринок можна вважати привабливим для входження.

Наступним кроком є ідентифікація основних груп споживачів, для яких запропоноване рішення може мати практичну цінність. Узагальнену характеристику потреб, поведінки та вимог потенційних клієнтів стартап-проєкту подано в таблиці 8.5.

Таблиця 8.5. – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Підвищення ефективності ректифікаційних колон синтезу метанолу	Хімічні підприємства виробництва метанолу	Схильність до консервативних рішень, високі вимоги до надійності та довгострокового підтвердження ефекту	Сумісність з існуючими тарілками і корпусом колони; відсутність погіршення безпеки та стабільності процесу; підтверджене підвищення ефективності; мінімальний простий при монтажі
2	Зменшення енергоспоживання і підвищення якості продукту у процесах ректифікації	Підприємства органічного синтезу, нафтопереробки, газопереробки з тарічастими колонами	Більша увага до економічного ефекту (енерговитрати, вихід цільового продукту)	Прозорий техніко-економічний розрахунок окупності; можливість поетапного впровадження; стандартні матеріали й відсутність складного обслуговування
3	Потреба у конкурентно му конструктивному рішенні для нових проєктів колон	Інжинірингові компанії та виробники колонного обладнання	Орієнтація на портфель рішень, що дозволяють підвищити конкурентоспроможність власних проєктів	Можливість інтеграції ковпачків у типові проєкти колон; технологічність виготовлення; стабільність постачання; наявність конструкторської документації

Узагальнюючи таблицю 8.5, можна зазначити, що всі групи клієнтів зацікавлені в підвищенні ефективності та надійності процесів за умов мінімізації ризиків та простоїв. Це створює сприятливі умови для нашого продукту [62, 67, 69].

Ринкове середовище стартап-проекту формують як несприятливі фактори (загрози), так і сприятливі фактори (можливості). Їхній аналіз

дозволяє підготувати потенційні реакції компанії та сформувані більш стійку ринкову стратегію. Аналіз факторів загроз та можливостей наведено в таблицях 8.6. та 8.7 [64, 66, 68-71].

Таблиця 8.6. – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Високі вимоги до сертифікації та промислової безпеки	Необхідність проходження сертифікації та додаткових погоджень може затягувати вихід на ринок та збільшувати витрати	Планування сертифікації з ранніх етапів; співпраця з підприємствами, що мають досвід у сертифікації обладнання
2	Консервативність галузі хімічного машинобудування	Потенційні замовники можуть відмовлятися від нових конструктивних рішень без багаторічної експлуатаційної статистики та референцій	Проведення пілотних впроваджень на одній/кількох колонах; публікація результатів випробувань
3	Можливий демпінг або активна цінова конкуренція з боку великих гравців	Виробники традиційних рішень можуть знижувати ціни чи пропонувати пакетні рішення, щоб зберегти клієнтів	Акцент на сумарній вартості володіння: менший простій, нижчі енерговитрати, сервіс «під ключ», гнучкі умови впровадження
4	Воєнні дії та пов'язані з ними безпекові ризики	Активні бойові дії, ракетні обстріли та пов'язані з ними логістичні обмеження можуть призводити до зривів постачання матеріалів і комплектуючих, зупинки виробництва, пошкодження інфраструктури замовників та зростання загальної невизначеності щодо строків реалізації проєкту.	Диверсифікація постачальників і транспортних маршрутів, формування запасів критичних матеріалів, використання дистанційних форматів супроводу проєктів, страхування основних ризиків та поетапне планування впровадження з урахуванням безпекової ситуації.

Узагальнення факторів демонструє, що ринкове середовище функціонування стартап-проєкту супроводжується низкою суттєвих загроз,

пов'язаних як з технологічними, так і з ринковими та регуляторними чинниками.

Таблиця 8.7. – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Тренд на енергоефективність та зниження експлуатаційних витрат	Підприємства шукають способи зменшення витрат на енергію та підвищення виходу цільового продукту без будівництва нових потужностей	Позиціонування ковпачків як інструменту підвищення ефективності існуючих колон; підготовка типових розрахунків окупності
2	Значний парк застарілих ректифікаційних колон	Багато підприємств експлуатують колони з традиційним внутрішнім устроєм та невисокою ефективністю	Пропозиція модернізаційних пакетів для існуючих колон (замінюються лише ковпачки); розробка типових рішень для найбільш поширених типорозмірів тарілок
3	Попит на рішення з мінімальним простом виробництва	Зупинка колони на тривалий час для модернізації є серйозним обмеженням для підприємств	Наголос на швидкому монтажі ковпачків, можливості поетапної заміни, включення монтажу в пакет послуг стартап-компанії
4	Мобілізаційні процеси	Мобілізація та зміна структури зайнятості спричиняють перерозподіл кадрових ресурсів і посилюють потребу підприємств у підвищенні продуктивності праці, автоматизації та модернізації діючого обладнання. Підприємства змушені шукати рішення, які забезпечують вищу ефективність процесів без суттєвого збільшення чисельності персоналу. За таких умов зростає цінність технічних рішень, що постачаються разом із послугами монтажу та інженерного супроводу.	Орієнтація на комплексне впровадження рішень, що поєднують постачання модифікованих ковпачків із їх професійним встановленням та пусконаладженням на об'єктах замовника. Позиціонування стартапу як партнера, який не лише постачає обладнання, а й бере на себе повний цикл модернізації тарілчастих ректифікаційних колон, даючи змогу підприємствам досягати кращих техніко-економічних показників в умовах обмежених кадрових ресурсів.

Дані таблиці 8.7 свідчать, що поряд із загрозами ринок містить вагомі можливості для розвитку стартап-проєкту, пов'язані з модернізацією існуючих виробничих потужностей, підвищенням енергоефективності та посиленням вимог до екологічності процесів.

Ступінь конкуренції на ринку рішень для ректифікаційних колон визначається структурою ринку, рівнем конкуренції, галузевою належністю та характером конкурентних переваг. Узагальнену оцінку наведено в таблиці 8.8.

Таблиця 8.8. – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентно спроможною)
1	2	3
Тип конкуренції: олігополістична	Ринок внутрішнього устрою ректифікаційних колон поділений між обмеженою кількістю великих постачальників, які мають усталені зв'язки з промисловими підприємствами та інжиніринговими компаніями, а вхід нових гравців ускладнений високими технологічними та репутаційними бар'єрами.	Зосередження зусиль на побудові партнерств з ключовими гравцями; формування репутації надійного нішевого постачальника спеціалізованих рішень
Рівень конкуренції: міжнародний	Основні конкуренти працюють не лише на національному, а й на міжнародному ринку, постачаючи обладнання для хімічних, нафтогазових та суміжних підприємств у різних країнах.	Необхідність забезпечити рівень якості, сумісний із міжнародними стандартами; диференціація за рахунок спеціалізації на модернізації існуючих колон

Продовження таблиці 8.8.

1	2	3
Галузева ознака: внутрішньогалузева	Конкуренція розгортається всередині однієї галузі – виробництва та модернізації колонного обладнання для хімічної, нафто- та газопереробної промисловості.	Орієнтація на глибоке розуміння технологічних процесів клієнта; пропозиція інженерної підтримки, а не лише постачання деталей
Вид конкуренції: товарно-видова	Замовники порівнюють між собою різні види технічних рішень для ректифікаційних колон: стандартні ковпачки, модифіковані ковпачки, клапанні тарілки, насадкові системи тощо.	Позиціонування модифікованих ковпачків як проміжного рішення між «дешевою модернізацією» і «дорогою повною заміною»
Характер конкурентних переваг: нецінова	Переваги гравців ринку формуються переважно за рахунок технічних характеристик, надійності, сервісної підтримки та наявності інженерного супроводу, а не тільки нижчої ціни.	Розвиток сервісних послуг (монтаж, супровід пуску, розрахунки ефективності); демонстрація технічних переваг на основі реальних кейсів
Інтенсивність конкуренції: немарочна	Ринок не орієнтований на масову «брендову» конкуренцію: рішення обирають на основі техніко-економічних розрахунків, тендерних процедур та експлуатаційного досвіду, а не під впливом реклами чи емоційної лояльності до торгової марки.	Уникання прямої цінової війни; акцент на унікальності конструкції та економічному ефекті для замовника

Результати ступеневого аналізу конкуренції показують, що на ринку присутні як прямі, так і опосередковані конкуренти, що пропонують різні підходи до підвищення ефективності ректифікаційних колон.

Для більш глибокого розуміння умов конкуренції в галузі використовується модель п'яти сил М. Портера. Для нашого стартап-проекту основні аспекти подано узагальнено в таблиці 8.9 [62, 63, 67].

Таблиця 8.9. – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	На ринку присутні виробники стандартних ковпачків, інших типів тарілок та насадки.	Можлива поява інших компаній, що запропонують альтернативні рішення модернізації (інші варіанти ковпачків, модифікації тарілок).	Залежність від постачальників нержавіючої сталі та виробничих потужностей (штампування, різання, гнуття).	Ключові клієнти – середні та великі промислові підприємства з високою переговорною силою, здатні вимагати індивідуальних умов та знижок.	Основні замінники – використання структурованої насадки, клапанних та інших високоефективних тарілок або повна заміна колони.
Висновки	Вони мають усталені зв'язки з клієнтами та значну експлуатаційну статистику.	Вхід у сегмент ускладнений технологічними та репутаційними бар'єрами.	Ринок постачальників розвинутий, але коливання цін на метал можуть впливати на собівартість.	Рішення про закупівлю приймаються повільно, на основі техніко-економічних обґрунтувань.	Ці рішення часто дорогі та вимагають більшої тривалості простою, але мають високу репутацію та історію застосування, тому і високу конкурентоспроможність.

За результатами аналізу можна зробити висновок, що інтенсивність конкурентної боротьби є помірною, але для успішного входження на ринок стартап-проект повинен продемонструвати технічну надійність і ефективність та запропонувати економічно привабливе рішення модернізації.

На основі проведеного аналізу ринкового середовища, вимог споживачів і умов конкуренції виділено ключові фактори конкурентоспроможності стартап-проекту в таблиці 8.10 [62, 65, 67, 69, 71].

Таблиця 8.10. – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Підвищення ефективності колони	Кінцевою метою модернізації є підвищення ступеня розділення фракцій або якості продукту. Клієнти оцінюють доцільність впровадження за приростом ефективності (еквівалентної кількості теоретичних тарілок, чистоти продукту тощо).
2	Вартість модернізації	Для підприємств критичною є сукупна вартість проекту порівняно з альтернативами (насадка, інші тарілки). Фактор визначає готовність клієнтів інвестувати в нове рішення.
3	Строк окупності модернізації	Навіть за прийнятною вартості модернізації ключовим для підприємств є строк її окупності, тобто час, за який економічний ефект від підвищення ефективності колони компенсує інвестиційні витрати.
4	Тривалість простою під час впровадження	Зупинка виробництва має прямий фінансовий ефект. Перевагою проекту є можливість обмежитися заміною ковпачків без переробки тарілок і колони, що зменшує тривалість простою.
5	Сумісність із існуючим обладнанням	Чим менше змін потрібно вносити в наявну колону, тим нижчі ризики й витрати. Сумісність з існуючими тарілками робить рішення більш привабливим для модернізації діючих установок.
6	Рівень сервісної підтримки	Можливість отримати інженерну підтримку, допомогу при монтажі та пусконаладженні підвищує довіру до постачальника та зменшує ризики для клієнта.

Узагальнення цих факторів дозволяє виділити ключові параметри конкурентоспроможності стартап-проекту, серед яких важливу роль відіграють технічна ефективність, економічна доцільність впровадження та рівень сервісної підтримки.

Виходячи з виділених факторів конкурентоспроможності, проводиться порівняльний аналіз сильних і слабких сторін проєкту відносно основних конкурентів. Порівняльний аналіз наведено в таблиці 8.11.

Таблиця 8.11. – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін стартапу

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали	Рейтинг товарів-конкурентів у по рівнянні із модифікованими ковпачками						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Підвищення ефективності колони	2				Koch- Glitsch		Стартап	Sulzer Chemtech
2	Вартість модернізації	1			Sulzer Chemtech	Koch- Glitsch	Стартап		
3	Строк окупності модернізації	1			Sulzer Chemtech	Koch- Glitsch	Стартап		
4	Тривалість простою під час впровадження	2		Sulzer Chemtech		Koch- Glitsch		Стартап	
5	Сумісність із існуючим обладнанням	2			Sulzer Chemtech			Стартап	Sulzer Chemtech
6	Рівень сервісної підтримки	1					Стартап / Koch- Glitsch	Sulzer Chemtech	

За результатами порівняльного аналізу із основними конкурентами, наведеного в таблиці 8.11, можна виокремити такі сторони стартап-проєкту:

Сильні сторони проєкту:

- Підвищена ефективність масообміну
- Мінімальне втручання в конструкцію колони
- Можливість пропонувати монтаж та інженерну допомогу як складову комплексного рішення

Слабкі сторони проєкту:

- Відсутність напрацьованої статистики промислової експлуатації
- Потреба в додаткових витратах на сертифікацію та дослідно-промислові випробування
- Низька впізнаваність бренду на початковому етапі

На завершення ринкового аналізу виконується SWOT-аналіз, який узагальнює сильні, слабкі сторони проєкту, а також ринкові можливості та загрози. Узагальнення наведено в таблиці 8.12.

Таблиця 8.12. – SWOT- аналіз стартап-проєкту

Сильні сторони: - Підвищена ефективність масообміну - Мінімальне втручання в конструкцію колони - Потенційно невелике зростання собівартості - Можливість пропонувати монтаж та інженерну допомогу	Слабкі сторони: - Відсутність напрацьованої статистики промислової експлуатації - Необхідність адаптації конструкції під різні типорозміри тарілок - Потреба в додаткових витратах на сертифікацію та дослідно-промислові випробування - Низька впізнаваність бренду на початковому етапі
Можливості: - Зростаючі вимоги до енергоефективності та зниження експлуатаційних витрат - Значний парк застарілих колон, що потребують модернізації - Інтерес інжинірингових компаній до конкурентних конструктивних рішень	Загрози: - Сильні позиції існуючих постачальників стандартних рішень - Конкуренція з боку альтернативних технологій (насадки, інші типи тарілок) - Високі бар'єри входу, пов'язані з сертифікацією та вимогами промислової безпеки

SWOT-аналіз показує, що за умови правильного позиціонування (акцент на енергоефективності, сумісності та низьких витратах на модернізацію) і послідовного зниження технологічних та ринкових ризиків (сертифікація, демонстраційні проєкти) стартап-проєкт має реалістичні ринкові можливості та може зайняти нішу рішень для модернізації діючих ректифікаційних колон.

На основі проведеного SWOT-аналізу сформовано декілька альтернатив ринкової поведінки стартап-проєкту і наведено їх в таблиці 8.13.

Таблиця 8.13. – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проєкту

№ п/п	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Пілотна стратегія з фокусом на окремих промислових партнерах: 1) розробка та випробування дослідної партії ковпачків; 2) впровадження пілотних проєктів на 1–2 хімічних підприємствах (колона синтезу/очистки метанолу або аналогічні процеси); 3) підготовка референційних кейсів та техніко-економічних обґрунтувань; 4) поступове масштабування продажів на основі підтверджених результатів.	Висока (потрібні обмежені інвестиції, можливе залучення партнерів)	1-2 роки
2	Стратегія партнерства з інжиніринговими компаніями та виробниками колонного обладнання (ОЕМ-інтеграція): 1) адаптація конструкції ковпачків під типові проєкти колон; 2) укладення партнерських угод з проєктними та інжиніринговими компаніями; 3) включення ковпачків до стандартних рішень для нових колон; 4) спільна участь у тендерах на постачання обладнання.	Середня (потребує більш значних ресурсів на маркетинг, сертифікацію та побудову довгострокових партнерств)	3-5 років
3	Стратегія науково-дослідно-орієнтованого розвитку з акцентом на розширенні дослідження та стандартизацію: 1) поглиблені лабораторні й напівпромислові дослідження гідродинаміки та масообміну; 2) розробка галузевих рекомендацій та методик розрахунку; 3) участь у науково-технічних програмах, підготовка публікацій; 4) поступове впровадження на ринку як «науково обґрунтованого» рішення.	Середньо-низька (значні вимоги до наукових, фінансових та часових ресурсів)	4-7 років

Після аналізу альтернатив доцільно буде обрати Альтернативу №1 – пілотну стратегію з фокусом на окремих промислових партнерах.

8.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Спираючись на результати ринкового аналізу та SWOT-оцінювання, необхідно конкретизувати ті сегменти, на які доцільно орієнтувати зусилля на початковому етапі реалізації проекту. Порівняльну характеристику потенційних цільових груп споживачів за критеріями готовності до впровадження, рівня попиту та інтенсивності конкуренції наведено в таблиці 8.14 [62, 65, 67-70].

Таблиця 8.14. – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Хімічні підприємства, що експлуатують тарілчасті ректифікаційні колони	Помірно висока	Середньо-високий	Середня	Низька
2	Підприємства органічного синтезу, нафтопереробки та газопереробки з тарілчастими колонами	Середня	Середній	Висока	Низько-середня
3	Інжинірингові та проєктні компанії, що розробляють колонне обладнання і модернізаційні проєкти	Помірно висока (за наявності підтверджених кейсів)	Потенційно високий	Середня	Середня
Які цільові групи обрано: На першому етапі реалізації проекту основною цільовою групою обирається група 1. Група 2 розглядається як резервний напрямок розширення, а група 3 – як стратегічний напрямок для масштабування.					

Обрані цільові сегменти характеризуються наявністю потреб у модернізації обладнання, значними обсягами переробки та підвищеними вимогами до ефективності та надійності технологічних процесів, що створює сприятливі умови для просування продукту.

На основі обраної в таблиці 8.9 альтернативи ринкової поведінки (пілотна стратегія з фокусом на окремих промислових партнерах) та визначеної стратегії охоплення ринку формулюється базова стратегія розвитку стартап-проекту в таблиці 8.15. При виборі базової стратегії використано класифікацію М. Портера [62, 63, 67].

Таблиця 8.15. – Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкуренти спроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Альтернатива 1 – пілотна стратегія з фокусом на окремих промислових партнерах	Робота з кількома цільовими сегментами, для кожного з яких формується окрема програма модернізації та комунікацій	- Можливість модернізації шляхом заміни лише ковпачків без повної реконструкції колони. - Підвищення ефективності масообміну за рахунок похилих прорізів, що створюють турбулентний газовий потік. - Скорочення тривалості простою під час монтажу та налагодження. - Використання стандартних матеріалів і технологій виготовлення, що обмежує приріст собівартості відносно стандартних ковпачків.	Стратегія диференціації

Обрана стратегія забезпечує збалансоване поєднання зростання за рахунок освоєння нових клієнтів та поглиблення співпраці з існуючими споживачами, при цьому зберігаючи можливість гнучкого реагування на зміну зовнішніх умов.

Паралельно із базовою стратегією розвитку проєкту важливо визначити підхід до конкурентної поведінки на ринку модернізації тарілчастих ректифікаційних колон. Основні орієнтири щодо ролі стартап-проєкту в галузі, способів залучення клієнтів та взаємодії з конкурентами узагальнено в таблиці 8.16.

Таблиця 8.16. – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проєкт «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Частково: у сегменті модифікованих ковпачків із похилими прорізами проєкт є новим рішенням, проте сам ринок тарілчастих колон і ковпачкових тарілок сформований та насичений.	На початковому етапі основний акцент робиться на пошуку нових споживачів у межах існуючого парку колон, з поступовим перетягуванням клієнтів у стандартних постачальників ковпачків у випадку успішних пілотних проєктів.	Копіювання основних характеристик конкурентів не є пріоритетом.	Стратегія заняття конкурентної ніші на ринку модернізації тарілчастих колон.

Зміст таблиці 8.16 показує, що стартап-проєкт доцільно позиціонувати як «нішевого» гравця, який частково виступає першопрохідцем у сегменті модифікованих ковпачків із похилими прорізами. Такий підхід дозволяє зосередитися на вузькоспеціалізованому рішенні з високою доданою цінністю для обмеженого, але технологічно вимогливого кола клієнтів, не вступаючи у пряму цінову конкуренцію з масовими постачальниками стандартних рішень.

На основі вимог споживачів (таблиця 8.5), обраної базової стратегії розвитку (таблиця 8.15) та стратегії конкурентної поведінки (таблиця 8.16)

формується стратегія позиціонування стартап-проекту (таблиця 8.17) [62, 65, 67-70].

Таблиця 8.17. – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентні спроможні позиції власного стартап проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Підвищення ефективності масообміну та/або якості продукту при мінімальному ризику технологічних збоїв.	Стратегія диференціації	- Можливість досягти приросту ефективності (ступеня розділення) без заміни корпусу колони та тарілок; - Адаптація конструкції під типові типорозміри тарілчастих колон.	- «Більше ефективності без нової колони» - «Сучасна тарілка зі звичним принципом роботи»
2	Модернізація з мінімальним простом та капітальними витратами.	Стратегія диференціації	- Скорочення тривалості простою обладнання під час модернізації (виконання робіт у вікна планових ремонтів); - Можливість поетапної модернізації окремих секцій/тарілок.	- «Швидка модернізація під час планового ремонту» - «Мінімальні зміни – відчутний результат»
3	Надійність, відповідність галузевим стандартам та зрозумілий сервісний супровід.	Стратегія диференціації	- Конструкція ковпачків, сумісна з чинними нормами експлуатації ректифікаційних колон; - Можливість постачання «під ключ»: розрахунок, підбір, участь у монтажі та пусконаладженні.	- «Промисловий стандарт із доданою цінністю» - «Повний інженерний супровід модернізації»

Отримані результати свідчать, що доцільно позиціонувати модифіковані ковпачки як високотехнологічне рішення для модернізації існуючих колон, яке забезпечує покращені техніко-економічні показники без необхідності повної заміни обладнання.

За результатами проведеного аналізу сформовано ринкову стратегію стартап-проекту, яка передбачає:

- орієнтацію на цільові сегменти промислових підприємств із діючими тарілчастими ректифікаційними колонами.
- застосування стратегії диференційованого маркетингу з окремими програмами ринкового впливу для основних сегментів.
- реалізацію стратегії конкурентної поведінки нішера, що концентрується на вузькому сегменті високоефективних рішень для тарілчастих колон.
- позиціонування продукту як рішення для швидкої, відносно недорогої та малоризикової модернізації ректифікаційних колон із підвищенням ефективності та мінімізацією простоїв.

Ця узгоджена система рішень щодо цільових сегментів, базової стратегії розвитку, конкурентної поведінки та позиціонування створює основу для подальшої розробки маркетингової програми стартап-проекту [62, 63, 65, 67-70].

8.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Маркетингова програма стартап-проекту модифікованих ковпачків для тарілчастих ректифікаційних колон формується на основі результатів аналізу конкурентоспроможності товару, обраної ринкової стратегії та стратегії позиціонування. Маркетингова концепція потенційного товару відображає зв'язок між потребами цільових клієнтів, вигодами, які вони отримують, та ключовими перевагами стартап-проекту відносно існуючих рішень. Узагальнення цих елементів занесено в таблицю 8.18 [62, 63, 65, 67-69].

Таблиця 8.18. – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару.

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Підвищити ефективність масообміну в тарілчастих ректифікаційних колонах без повної заміни апарата	Збільшення ефективності розділення, можливе покращення якості цільового продукту та зниження енерговитрат при збереженні існуючої колони	Модифіковані ковпачки з похилими прорізами формують більш турбулентний газовий потік і покращують контакт фаз порівняно зі стандартними ковпачками
2	Мінімізувати капітальні витрати на модернізацію ректифікаційних колон	Заміна лише ковпачків на існуючих тарілках дає змогу уникнути витрат на демонтаж та встановлення нових тарілок або повну реконструкцію колони	Використання типових матеріалів та геометрії, близької до існуючих ковпачків, дозволяє утримувати ціну на рівні, наближеному до стандартних рішень
3	Скоротити тривалість простоїв при проведенні модернізаційних робіт	Можливість виконання робіт із заміни ковпачків у межах планових ремонтних зупинок без значного подовження строків простою	Роботи обмежуються доступом до внутрішнього устрою колони та заміною ковпачків без складних монтажних операцій

Чітке виділення цих переваг дозволяє сформувати переконливу аргументацію на користь впровадження модифікованих ковпачків та використати їх як основу для подальшого позиціонування та маркетингових комунікацій.

Відповідно до методичних рекомендацій формується трирівнева модель товару яку наведено в таблиці 8.19 [62, 63].

Структурування товару за трьома рівнями дає змогу розмежувати базові функціональні характеристики, додаткові властивості та розширені сервіси, що супроводжують впровадження модифікованих ковпачків.

Таблиця 8.19. – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Задоволення потреби у підвищенні ефективності масообміну в тарілчастих ректифікаційних колонах без повної заміни апарата.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	Якість: -відповідність внутрішнім стандартам хімічних і нафтогазових підприємств щодо апаратів під тиском. - випробування ковпачків на стендах або в напівпромислових установках. - контроль геометричних параметрів та якості зварних/литих з'єднань.		
	Пакування: - групова тара з антикорозійним захистом. - супровідний технічний паспорт та інструкція з монтажу.		
	Марка: назва організації-розробника + назва товару.		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: - попередні техніко-економічні розрахунки ефекту від модернізації для конкретної колони. - інженерні консультації щодо вибору типорозмірів та обсягу модернізації.		
	Після продажу: - участь у пусконаладжувальних роботах. -навчання експлуатаційного персоналу особливостям роботи після модернізації.		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: - оформлення прав інтелектуальної власності. - зберігання детальної конструкторської документації у виконавця з обмеженим доступом. - поєднання конструктивних рішень ковпачка з пакетом інженерного супроводу, що ускладнює просте копіювання лише геометрії.			

Наступним кроком є визначення цінових меж, у яких доцільно встановлювати ціну на модифіковані ковпачки. Визначені межі цін наведено в таблиці 8.20 [62, 67, 71].

Таблиця 8.20. – Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
До товарів-замінників належать рішення з повної модернізації колони, а такі рішення потребують значних капітальних інвестицій. (800-900 тис. грн)	Товарами-аналогами є стандартні ковпачки для тарілчастих колон, що постачаються існуючими виробниками внутрішнього устрою колон. Їх ціна формує базовий (середній) рівень для елементів такого типу. (220-280 тис. грн)	Цільова група – великі промислові підприємства, які мають можливості фінансувати проекти модернізації.	Нижня межа: доцільно встановлювати ціну не нижче 100-110% ціни стандартних ковпачків, щоб відобразити додаткову цінність, але залишитись привабливими для модернізаційних проектів. (260-280 тис. грн) Верхня межа: ціна комплекту модифікованих ковпачків для колони має не наблизатись до витрат на повну реконструкцію внутрішнього устрою, тому орієнтовно – не більше 20-40% від питомої вартості комплексної модернізації колони за альтернативними рішеннями. (400-500 тис. грн)

Результати розрахунків дозволяють встановити орієнтовні межі ціни на модифіковані ковпачки з урахуванням витрат, очікуваної цінності для споживача та ринкових обмежень.

Система збуту для стартап-проекту повинна враховувати специфіку закупівельної поведінки промислових підприємств, тривалість циклу прийняття рішень та потребу в технічному супроводі. Запропонована система збуту наведена в таблиці 8.21 [62, 67].

Таблиця 8.21. – Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Закупівлі здійснюються великими промисловими підприємствами з формалізованими процедурами.	- Попередні технічні консультації та підбір рішення під конкретну колону. - підготовка техніко-економічних пропозицій (розрахунок очікуваного ефекту, термінів окупності). - координація процесу поставки, участь у монтажі та пусконаладженні.	Короткий канал збуту із можливим залученням одного посередника в особі інжинірингової компанії або постачальника комплексного обладнання для колони.	Комбінована система збуту: - прямі продажі ключовим промисловим підприємствам (особливо на етапі пілотних впроваджень). - партнерські угоди з інжиніринговими та проєктними компаніями, що можуть включати модифіковані ковпачки до складу своїх рішень.

Запропонована модель збуту орієнтується на поєднання прямих контактів із ключовими замовниками, участі в галузевих заходах та співпраці з інжиніринговими компаніями, що працюють на ринку модернізації технологічних систем.

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на обрану стратегію

позиціонування та специфіку поведінки різних груп цільових клієнтів [62, 63, 65, 67-70].

Таблиця 8.22. – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Інженерно-технічний персонал, орієнтований на технічні характеристики, надійність і керованість процесу. Схильний сприймати аргументи на основі розрахунків, режимних карт, результатів випробувань.	Галузеві конференції та семінари; технічні журнали й електронні видання; технічні презентації на підприємствах;	- «Більша ефективність без нової колонії»; - «Сучасний ковпачок для звичної тарілки»; - «Швидка модернізація під час планового ремонту».	Пояснити механізм підвищення ефективності, показати стабільність режимів роботи та відсутність додаткових технологічних ризиків; сформувати довіру до конструктивного рішення та розробника.	Раціональне, технічно аргументоване звернення: порівняльні графіки «до/після», опис конструкції, результати промислових випробувань, приклади адаптації рішення до різних колон.
2	Керівництво підприємств, фінансово-економічні служби, що ухвалюють інвестиційні рішення. Орієнтуються на терміни окупності, вплив на собівартість продукції.	Презентації для керівництва підприємств; участь у галузевих бізнес-форумах; інвестиційні пропозиції в рамках програм модернізації;	- «Мінімальні інвестиції – відчутний результат»; - «Модернізація без тривалої зупинки виробництва»; - «Енергоефективність та окупність модернізації у прийнятні строки».	Підкреслити економічну доцільність рішення, скорочення енерговитрат та/або збільшення виходу продукту, вписування модернізації у планові ремонти без значних втрат виробничої програми.	Стислі бізнес-кейси з розрахунками економії, терміну окупності, зниження собівартості.

Така побудова маркетингових комунікацій забезпечує адресність та змістовну насиченість взаємодії зі споживачами, сприяє формуванню довіри до нового технічного рішення та підвищує ймовірність успішного впровадження модифікованих ковпачків на ринку.

Сформована програма спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів (підвищення ефективності колонії, зменшення простоїв та інвестиційних ризиків), конкурентні переваги ідеї (можливість модернізації

шляхом заміни лише ковпачків, підвищення масообмінної ефективності без повної реконструкції колони), а також на стан і динаміку ринкового середовища, у межах якого буде впроваджено проєкт (помірне зростання ринку модернізації колонного обладнання, наявність високих бар'єрів входу та альтернативних технологічних рішень).

8.6. Висновки

У стартап-проєкті розглянуто ідею модернізації тарілчастих ректифікаційних колон за рахунок застосування модифікованих ковпачків із похилими прорізами, що формують більш турбулентний газовий потік і підвищують ефективність масообміну. Ключова перевага рішення полягає в тому, що для досягнення ефекту достатньо замінити лише ковпачки, без реконструкції тарілок і корпусу колони, що знижує капітальні витрати та скорочує тривалість простою обладнання.

Технологічний аудит показав, що виготовлення таких ковпачків можливе на основі вже наявних технологій (штампування, лазерне різання, гнуття), а основні завдання зводяться до розроблення конструкторської документації, оснастки та проведення дослідно-промислових випробувань. Аналіз ринку засвідчив наявність попиту на рішення, які підвищують енергоефективність і продуктивність діючих колон за умови мінімізації ризиків та інвестицій, попри високі бар'єри входу та конкуренцію з боку альтернативних технологій.

На основі SWOT-аналізу та оцінки ринкового середовища обрано пілотну стратегію виходу на ринок із фокусом на окремих промислових партнерах, із подальшим масштабуванням. Сформовано ринкову (маркетингову) програму, що включає концепцію товару, попередній аналіз цінових меж, систему збуту та підхід до комунікацій із технічними фахівцями й особами, які ухвалюють інвестиційні рішення.

Висновок

У магістерській дисертації на тему «Модернізація установки виробництва метанолу з розробкою ректифікаційної колони та парогенератора», виконаній за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг та комп'ютерно-інтегровані технології проектування інноваційного галузевого обладнання».

Проведено опис технологічного процесу виробництва метанолу, розглянуто основні стадії технологічної схеми та визначено місце ректифікаційної колони й парогенератора в установці. Виконано аналіз типів ректифікаційних апаратів, на основі якого обґрунтовано вибір тарілчастої колони з ковпачковими тарілками. Для забезпечення теплового балансу установки обґрунтовано вибір газового парогенератора, та проведено порівняння з аналогами. Проведено патентний пошук ректифікаційних колон і парогенераторів, що дозволив проаналізувати сучасні технічні рішення, визначити тенденції в напрямку енергоощадності, автоматизації й самоочищення, а також обґрунтувати патентну чистоту розробленої конструкції. Виконано параметричні розрахунки, що підтвердили працездатність і надійність вибраних апаратів, а також дозволили визначити основні геометричні параметри колони та парогенератора. Проведено розрахунки міцності, які підтвердили відповідність елементів конструкцій вимогам надійності й безпеки при робочих тисках і температурах. Розроблені заходи, що до вимог охорони праці, подано рекомендації з монтажу та експлуатації, визначено очікувані техніко-економічні показники, оцінено рівень стандартизації та уніфікації розроблюваних апаратів, виконано комп'ютерне моделювання процесів взаємодії у ковпачках тарілчастої ректифікаційної колони з симуляційним експериментом, що підтверджує запропоновану модернізацію та розроблено схему автоматичного керування технологічним процесом установки.

Фізична сутність модернізації полягає у заміненні вертикальних отворів ковпачків на тарілках ректифікаційної колони на отвори під кутом 45-60 градусів. Запропонована модернізація конструкції тарілок спрямована на підвищення енергоефективності та рівномірності барботажу.

Графічна частина складається з восьми креслень в форматі А1. Виконані креслення тарілчастої ректифікаційної колони, функціональна схема автоматизації, складальні креслення парогенератора, а також креслення деталей та вузлів апаратів. До складальних креслень складено специфікації.

За результатами роботи опубліковано три тези доповідей на Всеукраїнських конференціях.

Conclusion

In the master's thesis on the topic "Modernization of a methanol production plant with the development of a distillation column and a steam generator", completed under the educational and professional program "Engineering and computer-integrated technologies for the design of innovative industry equipment".

The technological process of methanol production is described, the main stages of the technological scheme are considered and the place of the distillation column and steam generator in the plant is determined. An analysis of the types of distillation apparatus is performed, on the basis of which the choice of a plate column with cap plates is justified. To ensure the thermal balance of the plant, the choice of a gas steam generator is justified, and a comparison with analogues is made. A patent search for distillation columns and steam generators is carried out, which allowed analyzing modern technical solutions, identifying trends in the direction of energy saving, automation and self-cleaning, as well as substantiating the patent purity of the developed design. Parametric calculations were performed, which confirmed the operability and reliability of the selected devices, and also allowed to determine the main geometric parameters of the column and steam generator. Strength calculations were performed, which confirmed the compliance of structural elements with the requirements of reliability and safety at operating pressures and temperatures. Measures were developed to meet labor protection requirements, recommendations for installation and operation were given, the expected technical and economic indicators were determined, the level of standardization and unification of the developed devices was assessed, computer modeling of interaction processes in the caps of the plate rectification column was performed with a simulation experiment, which confirms the proposed modernization and a scheme for automatic control of the technological process of the installation was developed.

The physical essence of the modernization is to replace the vertical holes of the caps on the plates of the rectification column with holes at an angle of 45-60

degrees. The proposed modernization of the plate design is aimed at increasing energy efficiency and uniformity of bubbling.

The graphic part consists of eight drawings in A1 format. Drawings of a plate distillation column, a functional diagram of automation, assembly drawings of a steam generator, as well as drawings of parts and assemblies of apparatuses have been made. Specifications have been drawn up for the assembly drawings.

As a result of the work, three abstracts of reports at All-Ukrainian conferences have been published.

Перелік посилань

1. Метанол [Електронний ресурс] // Вікіпедія. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Метанол>. – Дата доступу: 09.09.2025.
2. Student A.O. Trunin, Ph.D., Assoc. Stepaniuk A.R. Modernization of methanol production facility with development of rectification column and steam generator// Збірник тез доповідей XXVII Міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів і молодих вчених “Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання” (28 листопада 2024 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2024. – 239 с.
3. Локальні рішення глобальної проблеми: компактне виробництво метанолу [Електронний ресурс] // Oil-Gas.com.ua. – Режим доступу: <https://oil-gas.com.ua/statti/Локальні-рішення-глобальної-проблеми-компактне-виробництво-метанолу>. – Дата доступу: 09.09.2025.
4. Інститут технічної теплофізики НАН України [Електронний ресурс] // ITTF.kiev.ua. – Режим доступу: <https://ittf.kiev.ua>. – Дата доступу: 07.09.2025.
5. Гулієнко С. В., Степанюк А. Р. Процеси та обладнання хімічних технологій. Базові принципи теорії тепломасообміну: практикум з кредитного модуля [Електронний ресурс]. - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 128 с. - Режим доступу: репозитарій ЕЛА КПІ. - Дата доступу: 12.09.2025.
6. Швед М. П., Степанюк А. Р., Швед Д. М. Процеси та обладнання хімічної технології-1. Теплові процеси: вказівки до виконання розрахункової роботи [Електронний ресурс]. - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. - 271 с. - Режим доступу: репозитарій ЕЛА КПІ. - Дата доступу: 12.09.2025.

7. Гулієнко С. В., Степанюк А. Р. Процеси та обладнання хімічних технологій. Базові принципи теорії тепломасообміну: практикум (2-ге видання перероблене і доповнене). – Дата доступу: 12.09.2025.
8. Медведєв Р. Б., Складанний Д. М., Пустовий Д. О. Наближений тепловий розрахунок парогенератора АЕС з реактором ВВЕР-1000 [Електронний ресурс] // Комп'ютерне моделювання в хімії і технологіях та системах сталого розвитку - КМХТ-2019: зб. наук. статей, 6-8 травня 2019 р., Київ. - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. - С. 118-121. - Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/27924> - Дата доступу: 12.09.2025.
9. Шевель Є. В. Парогенератори та теплообмінники АЕС: методичні вказівки до практичних занять для студентів напрямів підготовки 6.050603 "Атомна енергетика" та 6.050604 "Енергомашинобудування" [Електронний ресурс]. - Київ: НТУУ "КПІ", ТЕФ, каф. АЕС і ІТФ, 2013. - 72 с. - Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/21728> - Дата доступу: 12.09.2025.
10. Довгопол А. В. Модернізація установки виробництва метилового спирту з розробкою тарілчастої ректифікаційної колони: дипломний проєкт бакалавра спеціальності 133 "Галузеве машинобудування" [Електронний ресурс]. - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 102 с. - Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/58905> - Дата доступу: 13.09.2025.
11. Преміум системи дистиляції [Електронний ресурс] // Aquagradus.com. – Режим доступу: <https://aquagradus.com/uk/premium-sistemi-distilyaciyi>. – Дата доступу: 13.09.2025.
12. Камінський В. С. Модернізація насадкової ректифікаційної колони установки виробництва ацетону: дипломний проєкт бакалавра спеціальності 133 "Галузеве машинобудування" [Електронний ресурс]. - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. - (прибл. 100 с.)

13. Степанов Д. В., Корженко Є. С., Боднар Л. А. Котельні установки промислових підприємств: навчальний посібник. - Вінниця: ВНТУ, 2011. - 120 с.
14. Семеняко О. В., Шевель Є. В. Парогенератори та теплообмінники АЕС: розрахунок на міцність елементів парогенераторів АЕС: навчальний посібник для студ. спеціальності 143 "Атомна енергетика" [Електронний ресурс]. - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. - 26 с.
15. Шевель Є. В., Воробйов М. В. Парогенератори АЕС: методичні вказівки до курсового проекту з дисципліни "Парогенератори та теплообмінники АЕС" [Електронний ресурс]. - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. - 25с.
16. Heat recovery steam generator [Електронний ресурс] // ScienceDirect Topics. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/heat-recovery-steam-generator>. – Дата доступу: 20.10.2025.
17. Energies [Електронний ресурс] // MDPI. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/13/3545>. – Дата доступу: 20.10.2025.
18. Методичні вказівки до розрахункової роботи з кредитного модуля «Процеси та обладнання хімічних технологій-2. Теплові процеси» “ для студентів напряму підготовки 133 – Галузеве машинобудування: [Електронний ресурс] / М.П. Швед, Д.М. Швед, Степанюк А.Р.; Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 46 с.
19. ДСТУ EN 13445-3:2015 Посудини, що працюють під тиском без вогневого підведення тепла. Частина 3. Проектування.
20. Distillation column for sustainable aviation fuel production: Patent CN118649433A; IPC B01D 3/00, B01D 3/14; Application 16.08.2024; Publication 17.09.2024 // Google Patents. – Режим доступу: <https://patents.google.com/patent/CN118649433A/zh>. – Дата доступу: 07.10.2025.

21. Gas-phase feed distillation column for ethylene carbonate: Patent CN118767462A; IPC B01D 3/00, B01D 3/14, B01D 46/10, B01D 46/66, B01D 46/681, F28D 21/00; Application 28.06.2024; Publication 15.10.2024 // Google Patents. – Режим доступу: <https://patents.google.com/patent/CN118767462A/zh>. – Дата доступу: 09.10.2025.
22. Refining device with distillation column having bottom dividing wall: Patent CN120021413A; IPC B01D 3/00, B01D 3/14, B01D 3/32, C07C 29/80, C07C 31/10; Application 11.07.2024; Publication 20.05.2025 // Google Patents. – Режим доступу: <https://patents.google.com/patent/CN120021413A/zh>. – Дата доступу: 09.10.2025.
23. Tray-type distillation device for PVC slurry defoaming and residual monomer removal: Patent JP7547485B2; IPC B01D 3/00, B01D 3/14, B01D 3/32, B01D 3/324; Application 23.11.2020; Publication 09.09.2024 // Google Patents. – Режим доступу: <https://patents.google.com/patent/JP7547485B2/ja>. – Дата доступу: 09.10.2025.
24. Automatic feeding ethyl acetate refining column: Patent CN220276307U; IPC B01D 3/00, F28D 21/00; Application 04.07.2023; Publication 02.01.2024 // Google Patents. – Режим доступу: <https://patents.google.com/patent/CN220276307U>. – Дата доступу: 09.10.2025.
25. Atmospheric superheated steam generator device: Patent CN118208718A; IPC F22G 1/16, F22G 3/006; Application 15.04.2024; Publication 18.06.2024 // Google Patents. – Режим доступу: <https://patents.google.com/patent/CN118208718A/zh>. – Дата доступу: 09.10.2025.
26. Method of operating a steam generator; steam generator and cooking device with a steam generator: Patent US11980314B2; IPC F22B 1/28, F22B 1/284,

- F22D 5/26, H05B 1/02, A47J 27/04, F24C 15/327; Application 19.11.2020; Publication 14.05.2024 // Google Patents. – Режим доступу: <https://patents.google.com/patent/US11980314B2/fr>. – Дата доступу: 09.10.2025.
- 27.Steam generator and method of use: Patent CN119267877B; IPC F22B 31/08, F22B 37/02, F22B 37/48, F22B 37/54, F22D 1/00; Application 12.12.2024; Publication 22.04.2025 // Google Patents. – Режим доступу: <https://patents.google.com/patent/CN119267877B/zh>. – Дата доступу: 09.10.2025.
- 28.Heated mist generator, steam generator and related methods: Patent US20240180351A1; IPC A47J 27/04, F24C 15/327; Application 28.11.2023; Publication 06.06.2024 // Google Patents. – Режим доступу: <https://patents.google.com/patent/US20240180351A1/en>. – Дата доступу: 09.10.2025.
- 29.Steam cooking apparatus with integrated steam generator: Patent US20240049901A1; IPC A47J 27/04, A47J 37/0629, F24C 15/327; Application 20.12.2021; Publication 15.02.2024 // Google Patents. – Режим доступу: <https://patents.google.com/patent/US20240049901A1/zh>. – Дата доступу: 09.10.2025.
- 30.Гулієнко С. В., Степанюк А. Р. Процеси та обладнання хімічних технологій. Базові принципи теорії тепломасообміну: практикум. - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 128 с.
- 31.Determination of Amount of Theoretical Zones and Feed Location in Multicomponent Distillation [Електронний ресурс] // WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics, Vol. 14, 2019, с. 198–204. – Режим доступу:<https://www.wseas.org/multimedia/journals/mechanics/2019/a445111-383.pdf>. – Дата доступу: 1.10.2025.

32. Мікульонюк І. О. Виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв: підручник для студентів вищих навчальних закладів [Текст]. - Київ: НТУУ "КПІ", 2012. - 419 с.
33. ДСТУ 4003-2000. Посудини та апарати. Вибір параметрів зміцнювального оброблення.
34. Корнієнко Я. М., Степанюк А. Р., Гулієнко С. В. та ін. Процеси та обладнання хімічних технологій. Частина 1. Практикум [Електронний ресурс]. - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. - навчальний посібник для студентів спеціальності 133 "Галузеве машинобудування".
35. Швед М. П., Степанюк А. Р., Гусарова О. В., Швед Д. М. Обладнання хімічних виробництв: конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 133 "Галузеве машинобудування". - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023.
36. Доброногов В. Г., Мікульонюк І. О. Конструювання опорних вузлів хімічних апаратів і перевірка несучої здатності обичайок під дією опорних навантажень: Навчальний посібник. – К.: НМК ВО, 1995. – 182с.
37. Конструювання фланцевих з'єднань сталевих посудин та апаратів. Навч. Посібник / І. О. Мікульонюк. – К.: ІСДО, 1997. – 151 с.
38. Каштанов С.Ф., Чернушак І.І. Методичні вказівки до розробки розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» в дипломних проектах та магістерських дисертаціях студентів ТЕФ освітнього рівня «магістр». — Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018. — 25 с.
39. Закон України „Про охорону праці”.
40. НПАОП 0.00-1.81-18 Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском.
41. НПАОП 0.00-1.69-13. Правила охорони праці під час експлуатації тепломеханічного обладнання електростанцій, теплових мереж і тепловикористовувальних установок.

- 42.ДСТУ 3273-95. Безпечність промислових підприємств.
- 43.ДСТУ 2156-93. Безпечність промислових підприємств. Терміни та визначення.
- 44.«Правила технічної експлуатації теплових установок і мереж» №71 14.02.2007.
- 45.ДСТУ Б А.3.2-6:2009 Система стандартів безпеки праці. Роботи з теплової ізоляції обладнання і трубопроводів. Вимоги безпеки.
- 46.Правила улаштування електроустановок. 21.08.2017.
- 47.НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.
- 48.НПАОП 40.1-1.01-97. Правила безпечної експлуатації електроустановок.
- 49.НПАОП 40.1-1.07-01. Правила експлуатації електрозахисних засобів.
- 50.ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом.
- 51.Сабарно Р.В. та ін Електробезпека на промислових підприємствах. -К.: Техніка, 1991.-285 с.
- 52.ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
- 53.ДСТУ EN 482:2022 Повітря робочої зони. Загальні вимоги до характеристик методик вимірювання вмісту хімічних речовин
- 54.ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення.
- 55.ДСН 3.3.6.037-99.Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
- 56.ДСТУ 2867-94 Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження. Загальні вимоги.
- 57.ДСТУ ISO 13090-1:2004 Вібрація та удар механічні. Настанова із заходів безпеки під час випробування та експериментів за участю людей.
- 58.ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації.

- 59.ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
- 60.Мікульонюк І.О. Виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв [Текст] : підруч. [для студ. вищ. навч. закл.]. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 419 с.: іл. – Бібліогр.: с. 413–415.
- 61.РД 50–33–80. Методичні вказівки. Визначення рівня уніфікації та стандартизації виробів. / Нац. стандарт України. - Вид. офіц. - 15 с.
- 62.Маркетинг стартап-проектів : навчальний посібник для усіх спеціальностей другого освітнього ступеню «магістр» / С. О. Солнцев, О. В. Зозульов, Н. В. Юдіна, Т. О. Царьова, Н. В. Язвінська ; за заг. ред. С.О. Солнцева ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 218 с. URL : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27437>
- 63.Розроблення стартап-проекту : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. Київ : НТУУ «КПІ», 2016. 28с.
- 64.Semeniuk, S., Levytskyi, V., Fomina, O., Fedorchenko, K., Yudina, N.,Ratynskiy, V., Shcherbatiuk, O., Bendiuh, V., & Zhurakivska, Y. (2024). Overcoming barriers to digitalization of small and medium-sized enterprises under martial law. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3(13 (129), 57-69.<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.304997>.
- 65.Yudina N. V. Methods of the Startup-Project Developing Based on ‘the Four-Dimensional Thinking’ in Information Society // Marketing and Management of innovations. 3’2017, P. 245-256. DOI:10.21272/mmi.2017.3-23 <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/journals/2017/3/245-256>.
- 66.Yudina, N. Economic “Butterfly” and Futurology of the War in Ukraine. Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv

- Polytechnic Institute”, 2022. №23 (2022). PP. 77-82. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.23.2022.264637>.
67. Yudina, N. Algorithm Of Marketing Decision Making. Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2022. №22 (2022). PP. 1-9. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.22.2022.260163>.
68. Yudina, N. Future Study Implementation Into Marketing Activity Of Companies. Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2021. №19 (2021). PP. 1-9 URL : <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/240315>.
69. Yudina, N., Pidlisna, O. Marketing Perception Of Technological Uncertainty By Decision-Makers. Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2021. №18 (2021). PP. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.18.2021.238105>.
70. Yudina, N., Instrumenty Zarządzania Przyszłością. Marketing Instytucji Naukowych I Badawczych, Vol. 38, Issue 4,, 2020, Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytutu Lotnictwa. Poland, Warszawa, p. 1-19 ISSN 2353-8503 eISSN 2353-8414. http://minib.pl/wp-content/uploads/2020/12/4-Yudina_pl.pdf. DOI: 10.2478/minib-2020-0027.
71. Yudina, N. Business Forecasting of Marketing Activity Riskiness of Companies in Markets. Economic Bulletin of National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute". №17(2020). P. 372-383. URL : <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/216380/>

72. Distillation Columns Market Report | Global Forecast From 2025 To 2033 [Електронний ресурс] / DataIntel. Режим доступу: <https://dataintel.com/report/global-distillation-columns-market> Дата звернення: 28.11.2025.
73. Distillation Columns Market Size, Share, Growth | CAGR Forecast 2032 [Електронний ресурс] / Future Market Reports. Режим доступу: <https://www.futuremarketreport.com/industry-report/distillation-columns-market> Дата звернення: 28.11.2025.
74. Business Areas [Електронний ресурс] / Konecranes. Investor Relations. Режим доступу: <https://investors.konecranes.com/business-areas> Дата звернення: 28.11.2025.
75. Лукінюк, М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології» / М. В. Лукінюк ; М-во освіти і науки України, НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 2,93 Мбайт). – Київ : Політехніка, 2008. – 236 с. – Назва з екрана.
76. Лукінюк, М. В. Контроль і керування хіміко-технологічними процесами [у 2 кн.]. Кн. 1. Методи та технічні засоби автоматичного контролю хіміко-технологічних процесів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки «Хімічна технологія та інженерія» / М. В. Лукінюк ; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 4,46 Мбайт). – Київ : Політехніка, 2012. – 336 с. – Назва з екрана.
77. Student A.O. Trunin, Ph.D., Assoc. Stepaniuk A.R. Modernization of methanol production facility with development of rectification column and steam generator// Збірник тез доповідей XXXVII Всеукраїнської науково-

практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених “Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів” (1 грудня 2025 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2025. – 357 с.

- 78.Student A.O. Trunin, Ph.D., Assoc. Stepaniuk A.R. Modernization of methanol production facility with development of rectification column and steam generator// Збірник тез доповідей XXXVII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених “Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів” (1 грудня 2025 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2025. – 357 с.

Додаток А Автоматична схема керування установкою

Метанол (CH_3OH) є важливою речовиною, яка використовується у багатьох галузях промисловості. Він слугує сировиною для виробництва формальдегіду, третбутилметилового етеру, розчинників, смол і пестицидів, які є основою для багатьох виробничих процесів. Також в енергетиці він застосовується як екологічно чисте паливо, добавка до пального, або у виробництві біопалива [2].

Технологічний процес виробництва метанолу включає послідовні стадії підготовки синтез-газу, синтезу метанолу, його конденсації та ректифікаційного очищення до товарного продукту. Автоматизація цього технологічного процесу спрямована на підтримання стабільних параметрів процесу (тиску, температури, витрат, рівнів, складу потоків) на всіх ключових ділянках, а основними її задачами є забезпечення сталої якості готового метанолу, підвищення надійності й безпеки експлуатації обладнання, зменшення впливу людського чинника, оптимізація енергоспоживання та використання сировини.

А.1. Опис технологічної схеми виробництва метанолу

Технологічний процес виробництва метанолу складається з трьох послідовних стадій [2]:

- 1) Підготовка синтез-газу
- 2) Синтез
- 3) Очищення метанолу

Відповідальна організація КПІ ім. Ігоря Сікорського	Технічне узгодження Новохат	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа				
Власник документа Кафедра МАХНВ	Розробник документа Трунін	Назва, додаткова назва Модернізація установки виробництва метанолу з розробкою ректифікаційної колонни та парогенератора	ЛМ4.1МП.14.100.001				
	Документ затверджено Степанюк		Інд. змін	Дата видання	Мова UA	Аркуш 152	

Рисунок А.1. – Технологічна схема виробництва метанолу [2]

ДМ41МП.14.100.001

Аркыш
153

Циркуляційний газ повертається в процес синтезу, попередньо стискаючись до робочого тиску в компресорі (2). Метанол-сирець проходить через дросель (11), де досягає атмосферного тиску, і потрапляє до збірника (12), звідки направляється на очищення в ректифікаційні колони. У першій колоні (13) видаляються гази та диметиловий ефір, а в другій (14) відділяються вищі спирти. Пар, що використовується в колонах утворюється парогенераторами (15)(16). На виході отримують метанол.

А.2. Аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації

Було вирішено провести аналіз автоматизації лише окремої, а саме – останньої, ділянки технологічної схеми «ректифікаційна колона 14 – парогенератор 16». Саме стійкість роботи цієї ланки безпосередньо впливає на якість готового продукту та енергетичні витрати виробництва.

На підставі аналізу ділянки технологічної схеми, норм технологічного режиму та апаратного оформлення технологічного процесу було визначено необхідний об'єм автоматизації виробництва, який винесено в таблицю А.1.

Таблиця А.1. – Параметри контролю та регулювання виробництва [76]

№ п/п	Найменування стадії процесу (технологічний об'єкт), місце заміру параметра	Найменування параметра, що контролюється чи регулюється	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до схеми автоматизації (контроль, регулювання, сигналізація)
1	2	3	4	5
1	Витрата метанолу-сирцю в ректифікаційну колону, трубопровід	Витрата	1,4 кг/с; $\pm 5\%$	Контроль, регулювання
2	Температура зони відбору готового метанолу, верхня частина ректифікаційної колони	Температура	65 °С; $\pm 2^{\circ}\text{C}$	Контроль, сигналізація

Продовження таблиці А.1.

1	2	3	4	5
3	Температура зони відбору кубового залишку, нижня частина ректифікаційної колони	Температура	95 °С; ±5°С	Контроль
4	Тиск у колоні, ректифікаційна колона	Тиск	0,14 МПа; ±0,02МПа	Контроль, сигналізація
5	Рівень рідини в кубі, нижня частина ректифікаційної колони	Рівень	65 %; ±5%	Контроль, сигналізація
6	Витрата пари, що надходить у колону з парогенератора, трубопровід	Витрата	0,28 кг/с; ±10 %	Контроль, регулювання
7	Температура пари, що надходить у колону з парогенератора, трубопровід	Температура	200 °С; ±20°С	Контроль, сигналізація
8	Тиск пари, що надходить у колону з парогенератора, трубопровід	Тиск	0,25 МПа; ±0,03МПа	Контроль, сигналізація

А.3. Опис розробленої схеми автоматизації

Для підвищення ефективності роботи ректифікаційної колони та парогенератора, забезпечення стабільної якості метанолу, надійного контролю та реєстрації основних технологічних параметрів, а також зменшення впливу людського фактору була розроблена система автоматизації ділянки виробництва метанолу [77]. В решті було отримано функціональну схему автоматизації виробництва метанолу, а також специфікацію до неї в таблиці А.2.

Витрата метанолу-сирцю, що надходить до ректифікаційної колони, вимірюється витратоміром FE 1А, встановленим на трубопроводі. Сигнал від витратоміра надходить до перетворювача витрати FT 1Б, а далі – на регулятор витрати FIC 1В, розміщений на щиті керування, який формує керуючий сигнал

на регулювальний клапан 1Г, підтримуючи витрату сировини на заданому рівні.

Температура в зоні відбору метанолу колони контролюється термоперетворювачем ТТ 2А, встановленим на корпусі колони. Сигнал з нього подається на вторинний показуючий прилад ТІ 2Б на щиті керування, що забезпечує візуальний контроль температури. Температура у нижній частині колони, в зоні відбору кубового залишку, вимірюється датчиком ТТ 3А, а значення температури відображається на індикаторі ТІ 3Б.

Тиск у ректифікаційній колоні контролюється перетворювачем тиску РТ 4А, а сигнал від нього надходить на вторинний показуючий прилад РІ 4Б на щиті керування. Рівень рідини в кубі ректифікаційної колони вимірюється рівнеміром безперервної дії ЛТ 5А, який передає данні на вторинний показуючий прилад ЛІ 5Б.

Витрата пари, що подається з парогенератора в колону, вимірюється витратоміром FE 6А і перетворювачем витрати FT 6Е, з якого сигнал надходить до регулятора FIC 6Є на щиті керування, який формує керуючий вплив на регулювальний клапан 6Ж, змінюючи подачу пари, і таким чином забезпечується підтримання необхідної витрати пари. Температура пари вимірюється термоперетворювачем ТТ 6Б, сигнал від якого надходить на індикатор температури ТІ 6Г.

Для контролю граничних значень параметрів передбачено світлову сигналізацію HL, що спрацьовує при перевищенні або зниженні параметрів відносно встановлених меж, забезпечуючи своєчасне попередження про можливе перевантаження апарата або порушення герметичності. Індикатори HL1, HL3, HL5, HL7, HL9 – показують, що параметри температури, тиску і рівня в колоні, а також температури і тиску в трубопроводі подачі пари відповідно, знаходяться в допустимих межах. Тоді коли HL2, HL4, HL6, HL8, HL10 – обозначають вихід параметрів за допустимі норми.

А.4. Висновок

У цьому розділі на підставі аналізу ділянки установки виробництва метанолу як об'єкта автоматизації визначено основні параметри контролю, регулювання, сигналізації та захисту, які було узагальнено в таблицю, та безпосередньо на їх основі розроблено схему автоматизації технологічного процесу. Запропонована схема враховує тепломасообмінні зв'язки між колоною і парогенератором, забезпечує раціональний вибір точок вимірювання і керувальних впливів, що дає змогу підтримувати стабільну якість готового продукту, оптимальний тепловий режим і необхідний рівень надійності та безпеки роботи установки.

Таблиця А.2. – Специфікація устаткування, виробів і матеріалів

Позиція на схемі	Назва параметра	Середовище, місце відбору інформації	Граничне значення параметра	Місце монтажу	Назва, технічна характеристика	Тип, марка моделі	Код	Завод-виробник	Кількість
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
УСТАТКУВАННЯ ТА ПРИЛАДИ									
FE 1A	Витрата	Метанол-сирець, трубопровід на вході в ректифікаційну колону	1,4 кг/с; ±5 %	Трубопровід подачі сировини	Первинний витратомір (діафрагма / стандартний звукувальний пристрій), $P_n \geq 1$ МПа, для рідкого органічного середовища	ВТП	—	ПрАТ «Івано-Франківський завод "Промприлад"»	1 од.
FT 1B	Витрата	Те саме	Те саме	Місцевий / на трубопроводі	Перетворювач витрати, вхід ΔP / імпульсний сигнал від FE 1A, вихід 4-20 мА, клас точності не гірше 1,0	АИР-20	—	ТОВ «Елемер-Сенсор», м. Запоріжжя	1 од.
FIC 1B	Витрата	Сигнал FT 1B	Те саме	Щит керування	Регулятор витрати з індикацією, ПІ/ПІД-алгоритм, вхід 4-20 мА, вихід 4-20 мА / пневмосигнал на клапан 1Г	ИРТ-5922	—	ТОВ «Елемер-Україна», м. Запоріжжя	1 од.
1Г	Витрата	Метанол-сирець, лінія подачі в колону	Те саме	Трубопровід подачі сировини	Регулювальний клапан з пневмо/електроприводом, DN за розрахунком, $P_n \geq 1$ МПа, характеристика рівномірна / рівновідсоткова	КЗР	—	ПАТ «Сумигазмаш», м. Суми	1 од.

Продовження таблиці А.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТТ 2А	Температура	Пари/рідина у зоні відбору метанолу в ректифікаційній колоні	~65 °С; ±2 °С	Корпус колони (верхня зона)	Термоперетворювач (RTD Pt100 або термопара типу К), діапазон 0–200 °С, клас допуску не гірше В (для RTD)	ТСМ-1288	—	ПАТ «Електротермометрія», м. Луцьк	1 од.
ТІ 2Б	Температура	Сигнал ТТ 2А	Те саме	Щит керування	Вторинний показувальний прилад температури, вхід 4–20 мА / термосигнал, цифрова/стрілочна індикація	ІРТ-5900	—	ТОВ «Елемер-Україна», м. Запоріжжя	1 од.
ТТ 3А	Температура	Рідина у нижній частині колони (кубовий залишок)	~95 °С; ±5 °С	Низ колони	Термоперетворювач (RTD / термопара), діапазон 0–200 °С	ТСМ-1288	—	ПАТ «Електротермометрія», м. Луцьк	1 од.
ТІ 3Б	Температура	Сигнал ТТ 3А	Те саме	Щит керування	Вторинний показувальний прилад температури	ІРТ-5900	—	ТОВ «Елемер-Україна», м. Запоріжжя	1 од.
РТ 4А	Тиск	Пари/газ у ректифікаційній колоні	0,14 МПа; ±0,02 МПа	Корпус колони	Перетворювач тиску для слабоагресивних середовищ, діапазон 0–0,4 МПа, вихід 4–20 мА, клас точності 1,0 або краще	АІР-20	—	ТОВ «Елемер-Сенсор», м. Запоріжжя	1 од.
РІ 4Б	Тиск	Сигнал від РТ 4А	Те саме	Щит керування	Вторинний показувальний прилад тиску, вхід 4–20 мА	ІРТ-5900	—	ТОВ «Елемер-Україна», м. Запоріжжя	1 од.
LT 5А	Рівень	Рідина в кубі ректифікаційної колони	65 %; ±5 %	Нижня частина колони (куб)	Рівнемір безперервної дії (гідростатичний / буйковий / радарний), діапазон 0–100 %, вихід 4–20 мА	РГ-100	—	ПрАТ «Івано-Франківський завод “Промприлад”»	1 од.
ЛІ 5Б	Рівень	Сигнал LT 5А	Те саме	Щит керування	Вторинний показувальний прилад рівня, вхід 4–20 мА	ІРТ-5900	—	ТОВ «Елемер-Україна», м. Запоріжжя	1 од.

Продовження таблиці А.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FE 6A	Витрата	Гріюча пара, трубопровід від парогенератора до колони	0,28 кг/с; $\pm 10\%$	Паропровід	Первинний витратомір (діафрагма / сопло / турбінний витратомір) для насиченої/перегрітої пари, $P_n \geq 1,6$ МПа	ВТП	—	ПрАТ «Івано-Франківський завод “Промприлад”»	1 од.
FT 6E	Витрата	Те саме	Те саме	Місцевий	Перетворювач витрати пари, вхід від FE 6A, вихід 4–20 мА, бажано з температурною компенсацією	АИР-20	—	ТОВ «Елемер-Сенсор», м. Запоріжжя	1 од.
FIC 6Є	Витрата	Сигнал FT 6E	Те саме	Щит керування	Регулятор витрати пари, ПИ/ПД, індикація процесу і завдання, вихід 4–20 мА / пневмосигнал на клапан 6Ж	ИРТ-5922	—	ТОВ «Елемер-Україна», м. Запоріжжя	1 од.
6Ж	Витрата	Гріюча пара в лінії подачі до колони	0,28 кг/с; $\pm 10\%$	Паропровід	Регулювальний клапан для пари, DN за розрахунком, $P_n \geq 1,6$ МПа, ущільнення для температури до 220–250 °С	КЗР	—	ПАТ «Сумигазماش», м. Суми	1 од.
ТТ 6Б	Температура	Пара, що надходить у колону з парогенератора (трубопровід)	~ 200 °С; ± 20 °С	Паропровід	Термоперетворювач (термопара К / RTD), діапазон 0–300 °С, захисна гільза для пари, клас допуску не гірше 2	ТСМ-1288	—	ПАТ «Електротермометрія», м. Луцьк	1 од.
ТІ 6Г	Температура	Сигнал ТТ 6Б	Те саме	Щит керування	Вторинний показувальний прилад температури, вхід 4–20 мА / термосигнал	ИРТ-5900	—	ТОВ «Елемер-Україна», м. Запоріжжя	1 од.
РТ 6В	Тиск	Пара в трубопроводі подачі до колони	$\sim 0,3$ МПа; $\pm 0,03$ МПа	Паропровід	Перетворювач тиску для пари, діапазон 0–0,6 МПа, вихід 4–20 мА	АИР-20	—	ТОВ «Елемер-Сенсор», м. Запоріжжя	1 од.
РІ 6Д	Тиск	Сигнал від РТ 6В	Те саме	Щит керування	Вторинний показувальний прилад тиску, вхід 4–20 мА	ИРТ-5900	—	ТОВ «Елемер-Україна», м. Запоріжжя	1 од.

Продовження таблиці А.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЕЛЕКТРОАПАРАТИ									
HL1, HL3, HL5, HL7, HL9	Світло ва сигнал ізація «Норм а»	Сигнали від контурів Т, Р, L колони та Т, Р пари	Парамет ри в допусти мих межах	Щит керуванн я	Лампи сигнальні світлодіодні жовті, U живл. 220 В, 50 Гц, монтаж у панель	E.NEX T-LED	–	ТОВ «Електротехнічна компанія “E.NEXT- Україна”»	5 од.
HL2, HL4, HL6, HL8, HL10	Світло ва сигнал ізація «Авар ія»	Те саме	Вихід парамет рів за допусти мі межі	Щит керуванн я	Лампи сигнальні світлодіодні червоні, U живл. 220 В, 50 Гц, монтаж у панель	E.NEX T-LED	–	ТОВ «Електротехнічна компанія “E.NEXT- Україна”»	5 од.
КАБЕЛІ ТА ПРОВІДНИКИ									
–	–	–	–	–	Кабель 4 × 1,5 мідний, діаметр 13,82 мм; ізоляція – пластикат полівінілхлоридний	КВБШ	–	Завод «Південкабе ль», м. Харків	450 м
МОНТАЖНІ ВИРОБИ									
–	–	–	–	–	Коробка з'єднувальна вибухозахисного ви конання; кількість вводів – 16; d = 18 мм	КСВ-11	–	Завод «Південкабе ль», м. Харків	4 од.
МАТЕРІАЛИ									
–	–	–	–	–	Труби захисні для електропроводок сталеві, 26 × 1,6 (з муфтами БНМ 100)	БНТ 100	–	Південнотру бний завод, м. Нікополь	3 комп.

Додаток Б Документація до патентного дослідження

Патентний огляд проведено з метою порівняння запропонованої модернізації ректифікаційної колони та парогенератора установки виробництва метанолу з існуючими технічними рішеннями, а також перевірки її на патентну чистоту.

РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ № ЛМ41МП.РП

Тема: Модернізація установки виробництва метанолу з розробкою ректифікаційної колони та парогенератора

Шифр: ЛМ41МП.14.100.001 ПЗ.

Етап: Проектування апарата та його основних частин

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень:
ЛМ41МП.15.09.2025

Предмет пошуку: ректифікаційна колона тарілчастого типу, парогенератор.

Мета пошуку: визначення тенденцій патентних розробок по темі.

Держави пошуку: Всі держави, окрім РФ та РБ.

Ретроспективність: регламент пошуку 2024-2025.

Класифікаційні індекси: B01D 3/14; B01D 3/18; F22B 1/18; F28D 7/16; F28F 9/22.

Джерела інформації: WIPO – Всесвітня організація інтелектуальної власності; Espacenet – безкоштовний онлайн-сервіс для пошуку патентів і патентних заявок; Google Patents – пошукова система для патентів і патентних заявок..

Патентна документація наведена в Таблиці Б.1.

Початок пошуку 15.09.2024р Закінчення пошуку 18.09.2024р

Таблиця Б.1 – Патентна документація

Назва патенту	Бібліографія	Статус
Distillation column for sustainable aviation fuel production	Distillation column for sustainable aviation fuel production: Patent CN118649433A; IPC B01D 3/00, B01D 3/14; Application 16.08.2024; Publication 17.09.2024.	Діє
Gas-phase feed distillation column for ethylene carbonate	Gas-phase feed distillation column for ethylene carbonate: Patent CN118767462A; IPC B01D 3/00, B01D 3/14, B01D 46/10, B01D 46/66, B01D 46/681, F28D 21/00; Application 28.06.2024; Publication 15.10.2024.	Діє
Refining device with distillation column having bottom dividing wall	Refining device with distillation column having bottom dividing wall: Patent CN120021413A; IPC B01D 3/00, B01D 3/14, B01D 3/32, C07C 29/80, C07C 31/10; Application 11.07.2024; Publication 20.05.2025.	Діє
Tray-type distillation device for PVC slurry defoaming and residual monomer removal	Tray-type distillation device for PVC slurry defoaming and residual monomer removal: Patent JP7547485B2; IPC B01D 3/00, B01D 3/14, B01D 3/32, B01D 3/324; Application 23.11.2020; Publication 09.09.2024.	Діє
Automatic feeding ethyl acetate refining column	Automatic feeding ethyl acetate refining column: Patent CN220276307U; IPC B01D 3/00, F28D 21/00; Application 04.07.2023; Publication 02.01.2024.	Діє
Atmospheric superheated steam generator device	Atmospheric superheated steam generator device: Patent CN118208718A; IPC F22G 1/16, F22G 3/006; Application 15.04.2024; Publication 18.06.2024	Діє
Method of operating a steam generator; steam generator and cooking device with a steam generator	Method of operating a steam generator; steam generator and cooking device with a steam generator: Patent US11980314B2; IPC F22B 1/28, F22B 1/284, F22D 5/26, H05B 1/02, A47J 27/04, F24C 15/327; Application 19.11.2020; Publication 14.05.2024	Діє
Steam generator and method of use	Steam generator and method of use: Patent CN119267877B; IPC F22B 31/08, F22B 37/02, F22B 37/48, F22B 37/54, F22D 1/00; Application 12.12.2024; Publication 22.04.2025	Діє
Heated mist generator, steam generator and related methods	Heated mist generator, steam generator and related methods: Patent US20240180351A1; IPC A47J 27/04, F24C 15/327; Application 28.11.2023; Publication 06.06.2024	Діє
Steam cooking apparatus with integrated steam generator	Steam cooking apparatus with integrated steam generator: Patent US20240049901A1; IPC A47J 27/04, A47J 37/0629, F24C 15/327; Application 20.12.2021; Publication 15.02.2024	Діє

Висновок: За результатами патентного пошуку встановлено, що розроблені ректифікаційна колона та парогенератор установки виробництва метанолу відповідають умовам патентної чистоти, оскільки сукупність їх суттєвих ознак не відтворена у виявлених найближчих аналогах. Аналіз патентної документації також показав тенденцію до підвищення енергоефективності, ускладнення внутрішніх контактних пристроїв колон, інтеграції парогенераторів у загальні теплотехнічні схеми та зростання рівня автоматизації обладнання в галузі.

Додаток В Патенти, які використані в патентному дослідженні

(19) 国家知识产权局



(12) 发明专利申请



(10) 申请公布号 CN 118649433 A

(43) 申请公布日 2024.09.17

(21) 申请号 202411128477.8

(22) 申请日 2024.08.16

(71) 申请人 洛阳恒玖生物能源有限公司

地址 471100 河南省洛阳市孟津区麻屯镇

麻屯街建设路9号

申请人 河南省君恒实业集团生物科技有限公司

(72) 发明人 张振辉 张振敏

(74) 专利代理机构 郑州银河专利代理有限公司

41158

专利代理师 吴卫华

(51) Int. Cl.

B01D 3/18 (2006.01)

B01D 3/20 (2006.01)

B01D 3/30 (2006.01)

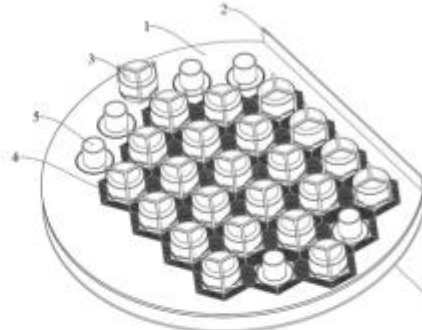
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种可持续航空燃料生产用精馏塔

(57) 摘要

本发明涉及精馏塔技术领域,具体公开了一种可持续航空燃料生产用精馏塔,包括塔体、塔板,塔板上设有溢流堰,塔板、塔体、溢流堰形成容纳回流液的容纳槽,塔板上设有多个泡罩机构,所述泡罩机构包括固定套和活动罩,固定套顶部开口并固定在塔板上,活动罩顶部封闭、底部开口并沿上下方向密封滑动装配在固定套内,所述活动罩与固定套之间设有向下牵拉活动罩的弹性件,所述塔板上设置有伸入活动罩内的进气管;本发明通过设置活动罩、弹性件使气体先储存在泡罩机构内再与回流液接触,气相与液相之间接触时间更长,使气泡上升通过支撑架时被分割成多个小气泡,使气相与液相之间的接触面积更大,精馏效果更好。





(21) 申请号 202410851023.7

C07D 317/38 (2006.01)

(22) 申请日 2024.06.28

(71) 申请人 广东中捷精创化学有限公司

地址 524000 广东省湛江市经济技术开发区
观海路183号荣基国际广场公寓22
层10号房

(72) 发明人 王武宾 吴伟娱 江玉明

(74) 专利代理机构 深圳市兴科达知识产权代理
有限公司 44260

专利代理师 袁士林

(51) Int. Cl.

B01D 3/14 (2006.01)

B01D 46/10 (2006.01)

B01D 46/681 (2022.01)

F28D 21/00 (2006.01)

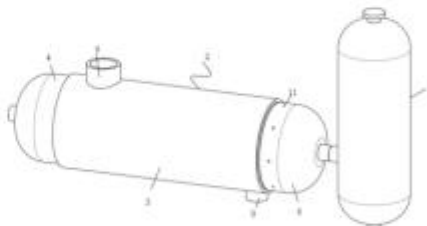
权利要求书1页 说明书4页 附图5页

(54) 发明名称

一种碳酸乙烯酯用气相进料精馏塔

(57) 摘要

本发明涉及精馏塔技术领域,且公开了一种碳酸乙烯酯用气相进料精馏塔,包括精馏塔主体,所述精馏塔主体左侧连通有换热器,所述换热器包括有换热罐,所述换热罐左侧固定有进料罐,所述进料罐左侧贯穿固定有进料口,所述换热罐右侧一体成型有内管,本发明使用时,气相材料受外部设备驱动进入进料罐内部,并带动转轮转动,通过两个不完全齿轮、齿轮三、转杆一、齿轮二、多个齿轮一依次传动下使管套与螺旋状的换热片往复转动,从而增加水的流动性和混合度,使得热量更均匀地分布在整个水体中,减少温度梯度,提高热传导效率,搅动的水流可以减少水垢和沉积物的形成,避免水垢和沉积物降低换热器的传热效率。



(19) 国家知识产权局



(12) 发明专利申请



(10) 申请公布号 CN 120021413 A

(43) 申请公布日 2025.05.20

(21) 申请号 202480003689.5

(22) 申请日 2024.07.11

(30) 优先权数据

10-2023-0124688 2023.09.19 KR

10-2024-0090008 2024.07.09 KR

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2025.02.12

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/KR2024/009905 2024.07.11

(87) PCT国际申请的公布数据

W02025/063453 KO 2025.03.27

(71) 申请人 株式会社LG化学

地址 韩国首尔

(72)发明人 张曜洙 李成圭 黄盛俊

(74) 专利代理机构 北京鸿元知识产权代理有限公司

公司 11327

专利代理师 王伟

(51) Int. Cl.

B01D 3/00 (2006.01)

C07C 29/80 (2006.01)

C07C 31/10 (2006.01)

B01D 3/32 (2006.01)

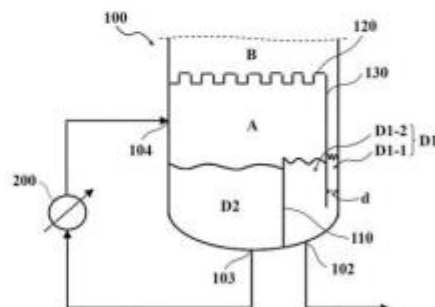
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

(54) 发明名称

精煉設備

(57) 摘要

本公开涉及一种精炼设备,包括蒸馏塔,所述蒸馏塔在其底部区域中被分隔壁分隔为第一区域和第二区域,所述分隔壁在第一区域和第二区域之间,其中,所述蒸馏塔包括:进料供应口,设置在中间区域的一侧,以将包含待精炼材料的进料流供应至所述蒸馏塔;第一出口,设置在所述第一区域下方;第二出口,设置在所述第二区域下方并且连接至再沸器的一侧;和回流入口,设置在所述第二区域上方并且连接至所述再沸器的另一侧,在所述蒸馏塔的中间区域中设置与所述分隔壁垂直分布置置的多个塔板,所述多个塔板中的最低塔板的一端打开以便不与所述第一区域上的蒸馏塔的侧面接触,并且设置从所述最低塔板的一端向下延伸以与所述蒸馏塔的底部邻近的导向挡板。



CN 120021413 A

(10) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特許公報 (B2)

(11) 特許番号
特許第7547485号
P7547485)

(45) 発行日 令和6年9月9日 (2024.9.9)

(24) 登録日 令和6年8月30日 (2024.8.30)

51) 国際特許分類			F I		
B 0 1 D	3/18	(2006.01)	B 0 1 D	3/18	C
B 0 1 D	3/14	(2006.01)	B 0 1 D	3/14	A
B 0 1 D	3/32	(2006.01)	B 0 1 D	3/32	A
			B 0 1 D	3/32	D
			B 0 1 D	3/32	Z
請求項の数 5 (全11頁)					
(21) 出願番号 特願2022-540682 (P2022-540682)			(73) 特許権者 520161344		
(86) (22) 出願日 令和2年11月23日 (2020.11.23)			ハンファ ソリューションズ コーポレー		
(65) 公表番号 特表2023-509048 (P2023-509048			ション		
A)			大韓民国 0 4 5 4 1 ソウル チュング		
(43) 公表日 令和5年3月6日 (2023.3.6)			チョンギョチョンロー (ジャンギョー		
(86) 国際出願番号 PCT/KR2020/016577			ドン) 8 6		
(87) 国際公開番号 W 02021/137435			(74) 代理人 100106002		
(87) 国際公開日 令和3年7月8日 (2021.7.8)			弁理士 正林 真之		
審査請求日 令和4年6月30日 (2022.6.30)			(74) 代理人 100120891		
(31) 優先権主張番号 10-2019-0177408			弁理士 林 一好		
(32) 優先日 令和1年12月30日 (2019.12.30)			(72) 発明者 リム ドンウク		
(33) 優先権主張国・地域又は機関 韓国 (KR)			大韓民国 デジョン 3 4 1 2 8 ユソソ		
			ーグ ガジョンロー 7 6		
			(72) 発明者 イ シンボム		
			大韓民国 デジョン 3 4 1 2 8 ユソソ		
			最終頁に続く		

54) 【発明の名称】 トレイ型蒸留装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

内部で蒸留対象物質と気体が反応するボディ部と、
前記ボディ部の上部に備えられ、前記蒸留対象物質が投入される蒸留対象物質供給部と、
前記ボディ部の下部に備えられ、前記気体が投入される気体流入部と、
前記ボディ部の上部に備えられ、前記蒸留対象物質と前記気体が反応して分離された揮
発性物質を排出する排出部と、
前記ボディ部の下部に備えられ、前記蒸留対象物質から前記揮発性物質が除去された結
果物質を回収する回収部と、
前記ボディ部の内部に複数備えられ、それぞれに複数のホールが備えられるトレイと、
前記トレイそれぞれの一側に備えられ、前記ボディ部の上部から下部に前記蒸留対象物
質が移動する通路を形成するダウンカマー (downcomer) と、
を含み、
前記蒸留対象物質供給部は、前記ボディ部の周縁に沿って120° 間隔で3個設けられ
、前記ボディ部に導入された前記蒸留対象物質が各前記蒸留対象物質供給部から最上段の
トレイに分散されて供給され、
前記3個の蒸留対象物質供給部は、前記ボディ部の外周面を垂直に貫通した後、下方に位
置する前記最上段のトレイの方向へ曲がり、供給口が前記最上段のトレイに面するように
配置され、
前記3個の蒸留対象物質供給部は、前記蒸留対象物質供給部の前記供給口の中心から前記

10

20



(21) 申请号 202321725506.X

C07C 69/14 (2006.01)

(22) 申请日 2023.07.04

(73) 专利权人 安徽瑞柏新材料有限公司

地址 235100 安徽省淮北市新型煤化工合
成材料基地临白路以西铁路以北

(72) 发明人 徐越 郑子贤

(74) 专利代理机构 合肥广源知识产权代理事务
所(普通合伙) 34129

专利代理师 徐国法

(51) Int. Cl.

B01D 1/14 (2006.01)

B01D 1/30 (2006.01)

B01D 29/03 (2006.01)

B01D 29/64 (2006.01)

C07C 67/52 (2006.01)

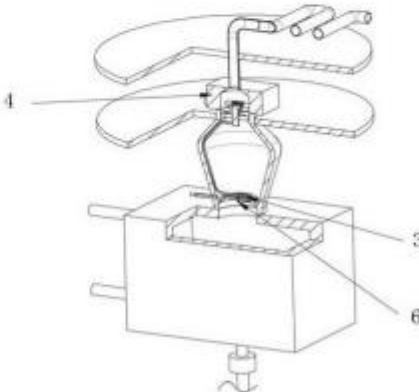
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 实用新型名称

一种自动输料的醋酸乙酯精制塔

(57) 摘要

本实用新型公开了一种自动输料的醋酸乙酯精制塔,涉及醋酸乙酯生产技术领域。包括蒸发组件,蒸发组件包括蒸发室、与蒸发室底端固定连通的进料管及位于蒸发室内部的热蒸汽管,所述蒸发室的顶端固定连通有导流罩,导流罩的顶部固定连通有连接箱,连接箱的顶端固定连通有冷凝管,导流罩的底壁固定有倾斜向上的斜板,斜板与导流罩之间形成有通道。本实用新型与现有技术的区别在于,在导流罩的底壁固定有倾斜向上的斜板,沾附在导流罩内壁上的液滴会沿着导流罩向下流动,直至流到斜板与导流罩之间形成有通道内,最后通过出料管进行排出,从而避免冷凝后的液滴通过导流罩内壁再次流入到蒸发箱中而进行再次蒸发,提高了醋酸乙酯的精制效率。



(19) 国家知识产权局



(12) 发明专利申请



(10) 申请公布号 CN 118208718 A

(43) 申请公布日 2024.06.18

(21) 申请号 202410448732.0

(22) 申请日 2024.04.15

(71) 申请人 深圳市日新益康科技有限公司

地址 518000 广东省深圳市宝安区沙井街
道后亭社区后亭茅洲山工业园工业大
厦全至科技创新园科创大厦20层A、20
层B、20层G

(72) 发明人 翁祖兵 长泽浩

(74) 专利代理机构 深圳市金信启明知识产权代
理有限公司 44484

专利代理人 周斌

(51) Int. Cl.

F22G 1/16 (2006.01)

F22G 3/00 (2006.01)

权利要求书1页 说明书9页 附图7页

(54) 发明名称

一种常压过热水蒸气发生装置

(57) 摘要

本发明公开了一种常压过热水蒸气发生装置,包括锅炉、饱和蒸汽加热器及供水器;供水器的底部与所述锅炉的底部连通有走水管道,供水器的顶部与锅炉的顶部连通有走气管道,锅炉的顶部还连通所述饱和蒸汽加热器,饱和蒸汽加热器连通外部大气环境,供水器还连接有原水水源;所述供水器内的原水从所述锅炉的底部进入,所述锅炉将底部进入的原水加热沸腾后产生饱和蒸汽,所述饱和蒸汽进入所述饱和蒸汽加热器被加热后变成过热水蒸气并被排出;所述供水器内设置有水位控制器,所述水位控制器控制所述原水水源的通断,使得所述供水器内的水位与锅炉内的水位共同保持一个恒定高度。本发明的装置能在常压下即可稳定连续地生成过热水蒸气。



CN 118208718 A



US011980314B2

(12) **United States Patent**
Schoenemann et al.

(10) **Patent No.:** **US 11,980,314 B2**
(45) **Date of Patent:** **May 14, 2024**

(54) **METHOD OF OPERATING A STEAM GENERATOR, STEAM GENERATOR AND COOKING DEVICE WITH A STEAM GENERATOR**

(71) Applicant: **E.G.O. Elektro-Geraetebau GmbH**,
Oberderdingen (DE)

(72) Inventors: **Konrad Schoenemann**, Sulzfeld (DE);
Elisabeth Stoetzner, Bretten (DE);
Sebastian Erbe, Knittlingen (DE); **Ralf**
Pawlowitsch, Karlsruhe (DE); **Ralf**
Sebastian Elgl, Bretten (DE)

(73) Assignee: **E.G.O. Elektro-Geraetebau GmbH**,
Oberderdingen (DE)

(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this
patent is extended or adjusted under 35
U.S.C. 154(b) by 724 days.

(21) Appl. No.: **16/952,430**

(22) Filed: **Nov. 19, 2020**

(65) **Prior Publication Data**

US 2021/0177188 A1 Jun. 17, 2021

(30) **Foreign Application Priority Data**

Dec. 16, 2019 (EP) 19216429

(51) **Int. CL**
A47J 27/04 (2006.01)
A47J 27/16 (2006.01)
(Continued)

(52) **U.S. CL**
CPC **A47J 27/04** (2013.01); **F22D 5/26**
(2013.01); **A47J 2027/043** (2013.01)

(58) **Field of Classification Search**
CPC **A47J 2027/043**; **A47J 27/04**; **F22B 1/285**;
F22B 35/00; **F22B 37/78**; **F22D 5/26**;
F24C 15/327; **H05B 1/0269**

See application file for complete search history.

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

4,823,767 A * 4/1989 Wust A47J 27/16
122/451 S
5,158,064 A * 10/1992 Willis A47J 27/04
126/369

(Continued)

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

DE 102013200277 A1 1/2014
EP 0832590 A2 4/1998

(Continued)

OTHER PUBLICATIONS

European Patent Office, Extended European Search Report received
for Application No. 19216429.1, dated May 27, 2020, 5 pages,
Germany.

(Continued)

Primary Examiner — Jorge A Perciro

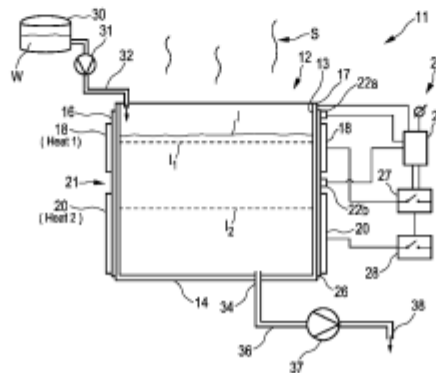
Assistant Examiner — Logan P Jones

(74) Attorney, Agent, or Firm — ALSTON & BIRD LLP

(57) **ABSTRACT**

A steam generator has a water container and an upper heating device and a lower heating device, a first temperature detection device covering a temperature detection area including the area covered by the two heating devices, a control device for monitoring and evaluating the first temperature detection device and for controlling the activation state of the two heating devices. A flat first temperature detection device covers the outside of the container, and a second spot-like temperature sensor is located on the water container in a region of an upper border of the upper heating device. Both temperature detection devices are used to activate and deactivate the two heating devices such that at first the lower heating device is activated to start generating steam as fast as possible.

24 Claims, 3 Drawing Sheets



(19) 国家知识产权局



(12) 发明专利



(10) 授权公告号 CN 119267877 B

(45) 授权公告日 2025.04.22

(21) 申请号 202411831536.8

(22) 申请日 2024.12.12

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 119267877 A

(43) 申请公布日 2025.01.07

(73) 专利权人 河南华泰石化装备股份有限公司

地址 453000 河南省新乡市新乡县翟坡镇
黄河大道271号

(72) 发明人 裴渐强 赵云峰 李军启 孙志恒

曹克源 杨小艳 申贞强 王子豪
朱轩辰

(74) 专利代理机构 新乡市平原智汇知识产权代

理事务所(普通合伙) 41139

专利代理师 杨杰

(51) Int. Cl.

F22B 31/08 (2006.01)

F22B 37/54 (2006.01)

F22D 1/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 108019731 A, 2018.05.11

CN 115013796 A, 2022.09.06

审查员 朱飞

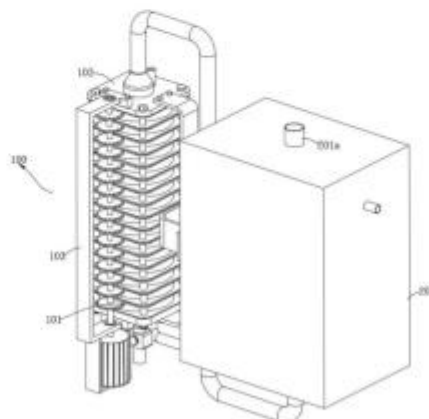
权利要求书3页 说明书8页 附图9页

(54) 发明名称

一种蒸汽发生器及使用方法

(57) 摘要

本发明涉及蒸汽发生器技术领域,特别是一种蒸汽发生器及使用方法,包括,燃烧机构,包括交换组件、端板、螺旋叶和配合杆,两个端板沿竖直方向呈对称布置,且两个端板之间位置沿竖直方向阵列设置有多组交换组件,交换组件包括一个外护套、两个联动套和两个交换盘,且外护套、联动套和交换盘从外向内同轴设置;设置在燃烧机构一侧的余热利用机构,包括处理箱和设置在处理箱内部的蛇形管;以及,用于燃烧机构和余热利用机构间连接的连接机构,包括输气管、输水管和十字板,该蒸汽发生器方便工作人员对内部的污垢进行清理,降低了生产成本,同时本蒸汽发生器可以根据实际因素进行调整,实用性好。



CN 119267877 B



US 20240180351A1

(19) **United States**

(12) **Patent Application Publication**
Prakasam et al.

(10) **Pub. No.: US 2024/0180351 A1**
(43) **Pub. Date: Jun. 6, 2024**

(54) **HEATED MIST GENERATOR, STEAM
GENERATOR AND RELATED METHODS**

Publication Classification

(71) Applicant: **ILLINOIS TOOL WORKS INC.**,
Glenview, IL (US)

(51) **Int. Cl.**
A47J 27/04 (2006.01)
A23L 5/10 (2006.01)
A47L 15/42 (2006.01)
F24C 15/32 (2006.01)

(72) Inventors: **Gopinath Prakasam**, Plain City, OH
(US); **Adam J. Karabin**, Beavercreek,
OH (US); **Alexander R.**
Anim-Mensah, Miamisburg, OH (US);
Jarrad Johnson, Troy, OH (US)

(52) **U.S. Cl.**
CPC *A47J 27/04* (2013.01); *A23L 5/13*
(2016.08); *A47L 15/4234* (2013.01); *F24C*
15/325 (2013.01); *F24C 15/327* (2013.01);
A47J 2027/043 (2013.01); *A47L 2601/04*
(2013.01)

(21) Appl. No.: **18/521,149**

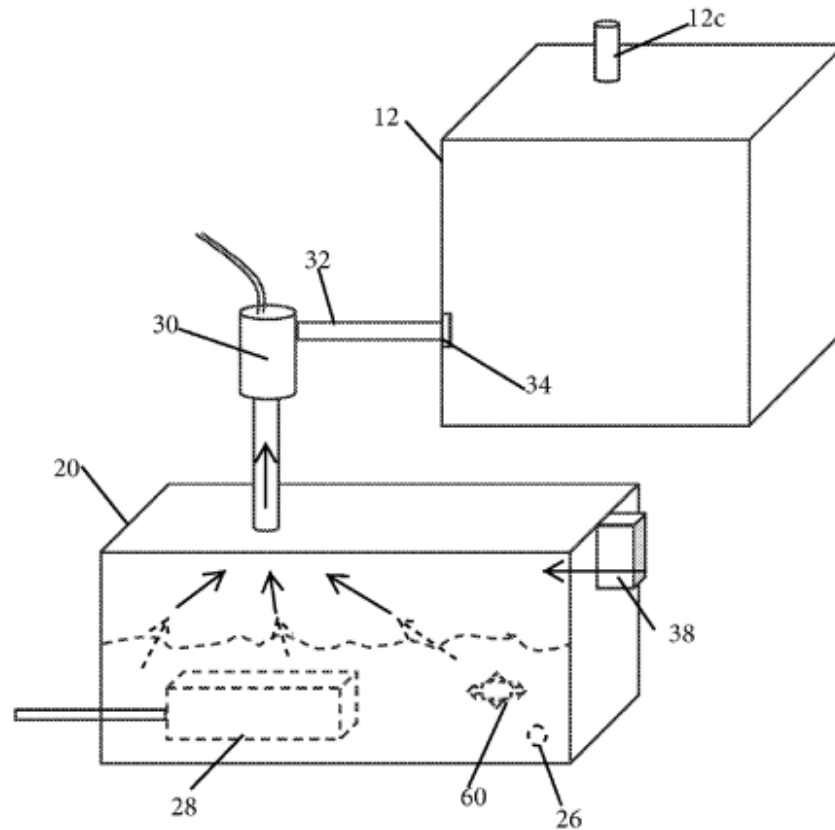
(22) Filed: **Nov. 28, 2023**

Related U.S. Application Data

(60) Provisional application No. 63/430,126, filed on Dec.
5, 2022.

ABSTRACT

A cooking device includes a cooking chamber, a mist
generator external of the cooking chamber and plumbed via
a line to an inlet of the cooking chamber; and a heater
located along the line for selectively heating the mist prior
to delivery into the cooking chamber.





US 20240049901A1

(19) **United States**

(12) **Patent Application Publication**
MURBACHER et al.

(10) **Pub. No.: US 2024/0049901 A1**
(43) **Pub. Date: Feb. 15, 2024**

(54) **STEAM COOKING APPARATUS**

Publication Classification

(71) Applicant: **KONINKLIJKE PHILIPS N.V.**,
Eindhoven (NL)

(51) **Int. Cl.**
A47J 27/05 (2006.01)
A47J 36/20 (2006.01)
A47J 37/06 (2006.01)
A47J 36/06 (2006.01)
A47J 45/06 (2006.01)
F24C 15/32 (2006.01)

(72) Inventors: **Werner MURBACHER**, Eindhoven
(NL); **Joachim SCHRETTINGER**,
Eindhoven (NL)

(52) **U.S. Cl.**
CPC *A47J 27/05* (2013.01); *A47J 36/20*
(2013.01); *A47J 37/0641* (2013.01); *A47J*
36/06 (2013.01); *A47J 45/061* (2013.01);
F24C 15/327 (2013.01); *A47J 2027/043*
(2013.01)

(73) Assignee: **KONINKLIJKE PHILIPS N.V.**,
Eindhoven (NL)

(21) Appl. No.: **18/269,436**

(22) PCT Filed: **Dec. 20, 2021**

(86) PCT No.: **PCT/EP2021/086818**

§ 371 (c)(1),

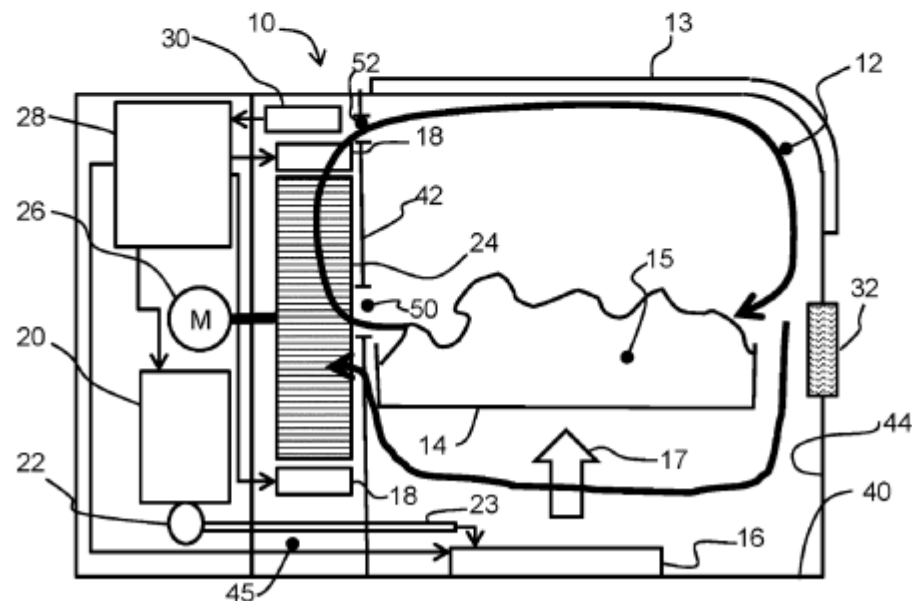
(2) Date: **Jun. 23, 2023**

(30) **Foreign Application Priority Data**

Dec. 24, 2020 (EP) 20217195.5

(57) **ABSTRACT**

A cooking apparatus has a cooking chamber and a heating chamber adjacent the cooking chamber used for heating air laden with steam. Air and steam is circulated between the cooking chamber and the heating chamber, through a vent arrangement. A food support is provided for mounting in the cooking chamber, having at least perforated basket and a lid plate for mounting over the basket. This enables two different cooking characteristics, at different height in the cooking chamber.



Додаток Г Комп'ютерний розрахунок еліптичного днища колони

Блок-схема розрахунку еліптичного днища наведена на рисунку Г.1



Рисунок Г.1 – Блок-схема розрахунку еліптичного днища

Програма розрахунку еліптичного днища колони (Mathcad):

Вихідні дані:

Матеріал днища	12X18H10T
Діаметр колони	$D = 1.2 \text{ м}$
Розрахунковий тиск	$P_R = 0.1 \text{ МПа}$
Розрахункова температура	$t_R = 372 \text{ К}$
Допустиме напруження	$\sigma = 172 \text{ МПа}$

Для стандартних еліптичних днищ внутрішній радіус кривизни у вершині:

$$R_e = D = 1.2 \text{ м}$$

Розрахункова товщина стінки еліптичного днища:

$$S_{дR} = \frac{P_R \cdot R_e}{2 \cdot \sigma \cdot \varphi - 0.5 \cdot P_R} = \frac{0.1 \cdot 1.2}{2 \cdot 172 - 0.5 \cdot 0.1} = 3.489 \times 10^{-4} \text{ м}$$

де $\varphi \equiv 1$ - розрахунковий коефіцієнт міцності зварного шва для стикового з двобічним суцільним проваром, що виконується автоматичним або напівавтоматичним зварюванням за ГОСТ 014249-89.

Оскільки швидкість корозії:

$$\nu_{кор} \geq 5 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

то додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії та ерозії:

$$C_1 = \nu_{кор} \cdot \tau + C_e = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 25 + 0 = 1.25 \times 10^{-3} \text{ м}$$

де $C_e \equiv 0$ м – додаток, який враховується при переміщенні в апараті рідких середовищ зі швидкістю понад 20 м/с або газоподібних – понад 100 м/с.

Виконавча товщина стінки еліптичного днища у першому наближенні:

$$S_{\text{вв}} = S_{дR} + C_1 + C_0 = 0.0003489 + 0.00125 + 6.434 \cdot 10^{-3} = 8.033 \times 10^{-3} \text{ м}$$

де $C_0 \equiv 6.434 \cdot 10^{-3}$ м – додаток до найближчої товщини стандартного днища, що відповідає технічним вимогам транспортування, монтажу та експлуатації.

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску:

$$C_2 = 0.8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Технологічний додаток до розрахункової товщини:

$$C_3 = 0 \text{ м}$$

Відношення суми додатків C_2 і C_3 до товщини S :

$$\frac{C_2 + C_3}{S} = \frac{0.8 \cdot 10^{-3} + 0}{0.008} = 0.1 > 0.05$$

Тоді сума додатків до розрахункової товщини:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0.00125 + 0.8 \cdot 10^{-3} + 0 = 2.05 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Виконавча товщина стінки еліптичного днища:

$$S_d = S_{dR} + C + C_o = 0.0003489 + 0.00205 + 5.764 \cdot 10^{-3} = 8.163 \times 10^{-3} \text{ м}$$

де $C_o \equiv 5.764 \cdot 10^{-3}$ м – додаток до найближчої товщини стандартного днища, що відповідає технічним вимогам транспортування, монтажу та експлуатації.

Висота еліптичного днища:

$$h_d = 0.25 \cdot D = 0.25 \cdot 1.2 = 0.3 \text{ м}$$

Перевірка умов застосування розрахункових формул:

$$\frac{S_d + C}{D} = \frac{0.008 + 0.00205}{1.2} = 8.375 \times 10^{-3}$$

$$0.002 < 0.008 < 0.1 \quad - \text{ умова виконується}$$

Перевірка геометричної умови:

$$\frac{h_d}{D} = \frac{0.3}{1.2} = 0.25$$

$$0.2 < 0.25 < 0.5 \quad - \text{ умова виконується}$$

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$P = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \varphi \cdot (S - C)}{R_e + 0.5 \cdot (S - C)} = \frac{2 \cdot 172 \cdot (0.008 - 0.00205)}{1.2 + 0.5 \cdot (0.008 - 0.00205)} = 1.701 \text{ МПа}$$

Перевірка умови міцності:

$$P_R \leq P = 0.1 \leq 1.7$$

Умова виконується, міцність забезпечена.

Всі ідентифікатори використані в програмі розрахунку наведені в таблиці Г.1.

Таблиця Г.1 – Перелік ідентифікаторів

Найменування величини	Позначення	Ідентифікатор	Розмірність
1	2	3	4
Діаметр колони	D	D	м
Розрахунковий тиск	p_R	P_R	МПа
Розрахункова температура	t_R	t_R	°C
Допустиме напруження	$[\sigma]$	σ	МПа
Внутрішній радіус кривизни	R_e	R_e	м
Розрахункова товщина стінки еліптичного днища	S_{dR}	S_{dR}	м
Коефіцієнт міцності зварного шва	φ	φ	

Продовження таблиці Г.1.

1	2	3	4
Швидкість корозії	$v_{\text{кор}}$	$v_{\text{кор}}$	м
Додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії та ерозії	C_1	C_1	м
Додаток, який враховується при переміщенні в апараті рідких Середовищ	C_e	C_e	м
Виконавча товщина стінки еліптичного днища	S	S	м
Додаток до найближчої товщини стандартного днища	C_0	C_0	м
Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску	C_2	C_2	м
Технологічний додаток до розрахункової товщини	C_3	C_3	м
Сума додатків до розрахункової товщини	C	C	м
Виконавча товщина стінки еліптичного днища	S_D	S_D	м
Висота еліптичного днища	h_D	h_D	м
Допустимий внутрішній надлишковий тиск	$[P]$	P	МПа

Результати отримані за програмою розрахунку еліптичного днища колони наведені в таблиці Г.2.

Таблиця Г.2 – Результати розрахунку

Найменування величини	Позначення	Числове значення	Розмірність
Виконавча товщина стінки	S	$8 \cdot 10^{-3}$	м
Допустимий тиск	$[P]$	1,7	МПа

Додаток Д Публікації автора

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

студента кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних
виробництв

ТРУНІНА АНТОНА ОЛЕКСІЙОВИЧА

1. Student A.O. Trunin, Ph.D., Assoc. Stepaniuk A.R. Modernization of methanol production facility with development of rectification column and steam generator// Збірник тез доповідей XXVII Міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів і молодих вчених “Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання” (28 листопада 2024 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2024. – 239 с.
2. Student A.O. Trunin, Ph.D., Assoc. Stepaniuk A.R. Modernization of methanol production facility with development of rectification column and steam generator// Збірник тез доповідей XXXVII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених “Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів” (1 грудня 2025 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2025. – 357 с.
2. Student A.O. Trunin, Ph.D., Assoc. Stepaniuk A.R. Modernization of methanol production facility with development of rectification column and steam generator// Збірник тез доповідей XXXVII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених “Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів” (1 грудня 2025 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2025. – 357 с.

**MODERNIZATION OF METHANOL PRODUCTION FACILITY
WITH DEVELOPMENT OF RECTIFICATION COLUMN AND STEAM
GENERATOR**

student A.O. Trunin, Ph.D., Assoc. Stepaniuk A.R.

**National Technical University of Ukraine
"Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"**

Annotation: *Described technological scheme of methanol production, a description of the designs of the rectification column and the steam generator is provided*

Keywords: MODERNIZATION. METHANOL, RECTIFICATION COLUMN, STEAM GENERATOR

**МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА МЕТАНОЛУ З
РОЗРОБКОЮ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ ТА ПАРОГЕНЕРАТОР**

студент Трунін А.О., к.т.н., доц. Степанюк А.Р.

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

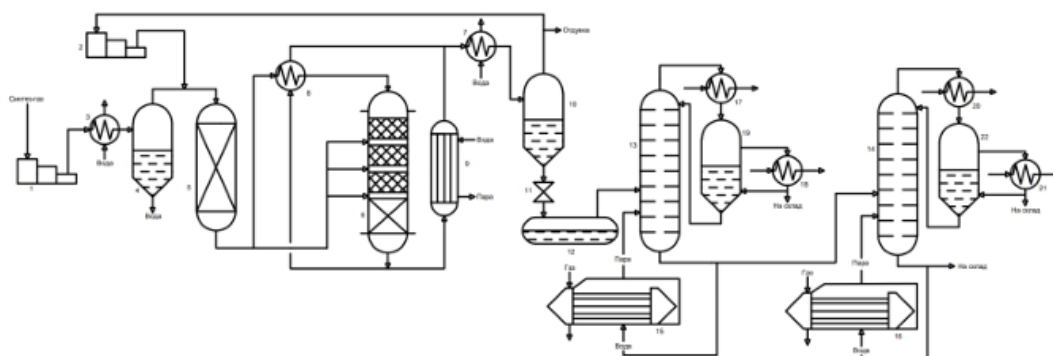
Анотація: *Описано технологічну схему виробництва метанолу, наведено опис конструкцій ректифікаційної колони та парогенератора*

Ключові слова: МОДЕРНІЗАЦІЯ. МЕТАНОЛ, РЕКТИФІКАЦІЙНА КОЛОНА, ПАРОГЕНЕРАТОР

Methanol (CH_3OH) is an important substance used in many industries. It serves as a raw material for the production of formaldehyde, tert-butyl methyl ether, solvents, resins and pesticides, which are the basis for many production processes. It is also used in the energy industry as an environmentally friendly fuel, a fuel additive,

or in the production of biofuel.

In addition to its traditional use, the use of methanol by capturing and converting carbon dioxide into useful raw materials contributes to the environment. It is this versatility that makes methanol indispensable in many industries (Figure 1) [1].



- 1 – turbo compressor, 2 – circulating compressor, 3, 7 – refrigerator,
4 – separator, 5 – adsorber, 6 – adiabatic reactor, 8, 17, 18, 20, 21 – heat exchanger,
9 – recovery boiler, 10, 19, 22 – separator, 11 – throttle, 12 – collector,
13, 14 – rectification column, 15, 16 – steam generator.

Figure 1 – Technological diagram of methanol production

The technological process of methanol production consists of four consecutive stages [2]:

- 1) Synthesis gas preparation
- 2) Synthesis
- 3) Purification of methanol

Synthesis gas, previously purified from sulfur compounds, is compressed in the compressor (1) to an operating pressure of 5-9 MPa. Next, the gas is cooled in the refrigerator (3) and enters the separator (4), where water is separated from it. After that, circulation gas, previously compressed in the compressor (2) to the same pressure, is added to the synthesis gas. The mixed gas mixture enters the adsorber (5),

where it is cleaned of pentacarbonyl.

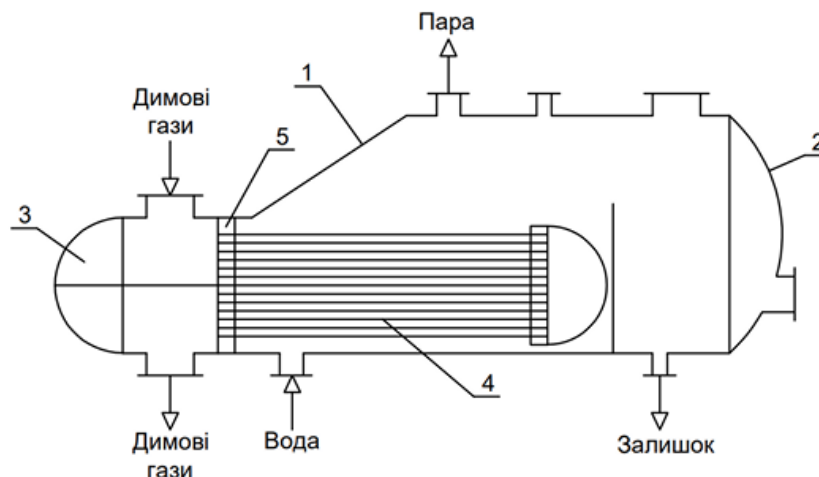
Next, the gas flow is divided into two directions: one is heated in the heat exchanger (8) and fed to the reactor inlet (6), and the other is directed into the reactor between the catalyst layers for temperature regulation. After passing through the reactor, where the mixture reaches a temperature of about 300 °C, it again divides into two streams. One of the flows is used as a coolant in the heat exchanger (8), and the other is cooled in the recovery boiler (9), where it generates high-pressure steam for production needs. The streams are combined and fed to the refrigerator (7), after which the cooled mixture is directed to the high-pressure separator (10). Alcoholic condensate is separated here - raw methanol, and the gas component becomes circulating gas.

The circulating gas is returned to the synthesis process, having previously been compressed to the working pressure in the compressor (2). Raw methanol passes through the throttle (11), where it reaches atmospheric pressure, and enters the collector (12), from where it is sent to the purification columns for purification. Gases and dimethyl ether are removed in the first column (13), and higher alcohols are separated in the second (14). The steam used in the columns is generated by steam generators (15) and (16). Methanol with a purity of 99.95% is obtained at the output.

As a steam generator for this installation, it was decided to use a gas steam generator due to its efficiency, reliability and simple design, which will greatly facilitate further modifications. In addition, the gas used in the steam generator can be used as fuel for the tubular furnace, which will further increase the efficiency of the installation.

The steam generator consists of a body (1) and covers (2). Evaporation of water takes place thanks to the flue gases that enter through the fitting into the distribution chamber (3), and from there — into the pipes (4), secured by pipe grates (5). Water is supplied through another fitting into the inter-pipe space, where, washing the pipe bundle, it is heated and turns into steam. The steam is discharged through the upper connection, and the remaining water is discharged through the

lower connection (Figure 2).



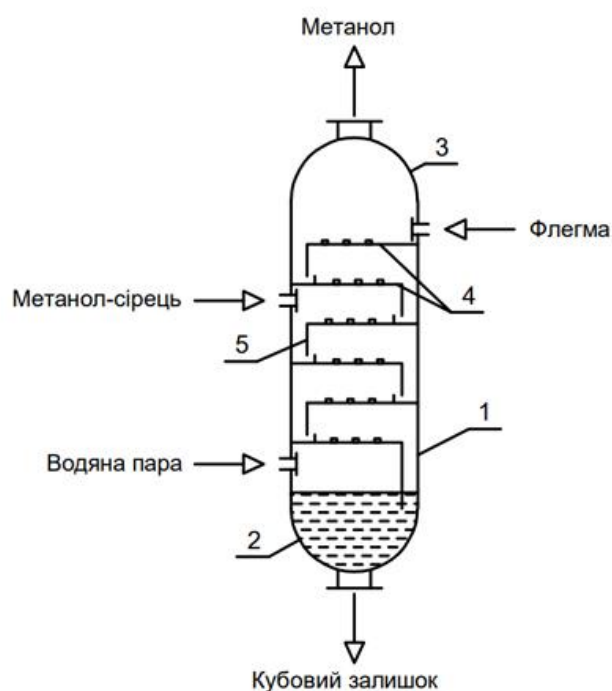
1 – housing, 2 – covers, 3 – distribution chamber, 4 – pipes, 5 – pipe grid.

Figure 2 – Scheme of the steam generator

A plate-type rectification column with plates was chosen for the rectification process. Such a column is the optimal choice for the installation due to high cleaning efficiency, adaptability to changes in process parameters, resistance to contamination and economical design (Figure 3).

The column consists of a body (1) in which there are plates (4) with overflow devices (5), a cover (3) and a bottom (2). Raw methanol enters the middle part of the column through the fitting, where it flows down, passing through the plates in turn. A layer of liquid accumulates on each plate, which gradually evaporates.

In the upper part of the column, the gas phase is cooled, and pure methanol is condensed. Part of the condensed material is returned to the column in the form of phlegm to ensure a more intensive mass exchange process, and the rest is fed to the outlet as a finished product.



1 – body, 2 – bottom, 3 – lid, 4 – plates, 5 - overflow wall.

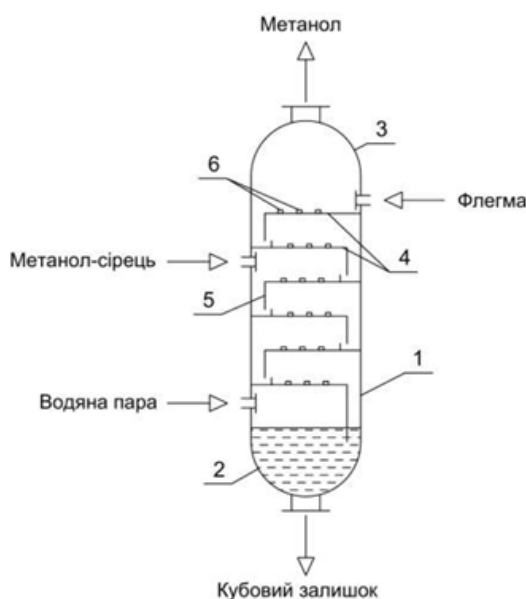
Figure 3 – Scheme of the rectification column

List of links:

1. Methanol [Electronic resource] // Wikipedia. – Access mode: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Methanol>. – Access date: 12/29/2024.
2. Local solutions to a global problem: compact methanol production [Electronic resource] // Oil-Gas.com.ua. – Access mode: <https://oil-gas.com.ua/statti/Local-solutions-global-problem-compact-production-methanol>. – Access date: 12/29/2024.
3. Methodical instructions for calculation work from the credit module "Processes and equipment of chemical technologies-2. Thermal processes" " for students of the field of training 133 - Industry mechanical engineering: [Electronic

**Збірник тез доповідей XXVII міжнародної науково-практичної конференції студентів,
аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"**

resource] / M.P. Shved, D.M. Shved, Stepaniuk A.R.; Kyiv: KPI named after Igor Sikorskyi, 2017. – 46 p.



1 – корпус, 2 – днище, 3 – кришка, 4 – тарілки ковпачкові, 5 – переливна стінка, 6 – ковпачки.

Рисунок 1 – Схема тарілчастої ректифікаційної колони

Колона складається з корпусу (1), у якому розташовані ковпачкові тарілки (4) з переливними стінками (5), кришки (3) та днища (2). Метанол-сирець подається в середню частину колони, де рідина стікає вниз через тарілки, а пара піднімається крізь ковпачки (6) і крізь прорізи в них, барботуючи крізь шар рідини. Такий контакт фаз забезпечує стабільний процес масообміну навіть при зміні навантаження пари.

У верхній частині колони газова фаза охолоджується, і конденсується чистий метанол. Частина сконденсованого матеріалу повертається в колону у вигляді флегми для забезпечення більш інтенсивного процесу масообміну, а решта подається на вихід як готовий продукт [2].

Переваги:

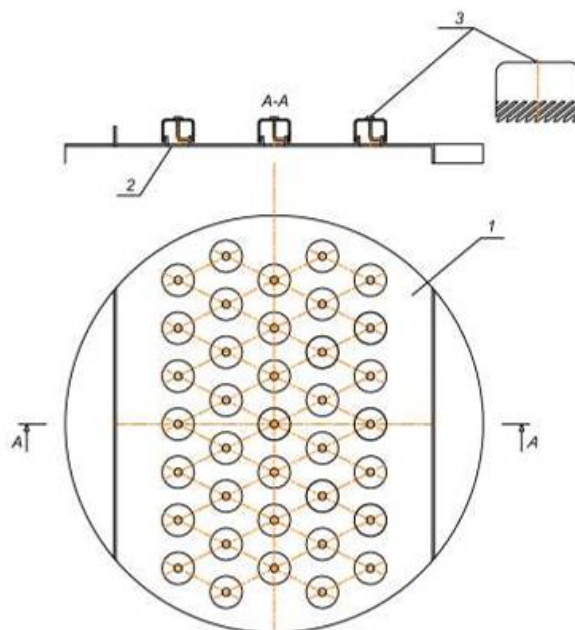
- 1) Висока ефективність розділення при помірних витратах енергії.
- 2) Стабільний барботаж при змінних навантаженнях пари.

Недоліки:

- 1) Дещо більший перепад тиску порівняно з іншими типами тарілок.
- 2) Можлива нерівномірність розподілу барботажу за площиною тарілки.

Для усунення недоліку нерівномірного барботажу та зменшення енергоспоживання запропоновано модернізувати ковпачкові тарілки. Суть цієї модернізації полягає у зміні конструкції ковпачка: на його бічній поверхні виконуються прорізи під кутом $(45-60^\circ)$ до вертикалі, що дозволяє парі виходити не лише вгору, а й частково вбік, створюючи більш активне перемішування рідини.

Такий напрям потоку створює завихрення потоків пари підвищує ступінь контакту фаз та покращує тепломасообмін. У результаті колона працює стабільніше при менших витратах тепла.



1 – тарілка; 2 – отвір; 3 – ковпачки.

Рисунок 2 – Схема модернізації ковпачкової тарілки колони.

Висновок:

Запропонована модернізація усуває недолік нерівномірного барботажу та підвищених енерговитрат. Завдяки похилим прорізам, що спрямовують пару по дотичній, рідина закручується навколо стояка, забезпечуючи рівномірний турбулентний барботаж. Це покращує масообмін, зменшує перепад тиску і підвищує енергоефективність колони.

Перелік ресурсів:

1. Student A.O. Trunin, Ph.D., Assoc. Stepaniuk A.R. Modernization of the methanol production installation with the development of a rectification column and steam generator. - 2024
2. Ректифікаційна колона [Електронний ресурс] // Autoclav.com.ua – блог. – Режим доступу: <https://autoclav.com.ua/ua/blog/rektifikacionnaya-kolonna-rabota>. – Дата доступу: 07.10.2025.

MODERNIZATION OF THE RECTIFICATION COLUMN PLATE OF THE METHANOL PRODUCTION PLANT

student Trunin A.O., Ph.D., associate professor Stepaniuk A.R.

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ANNOTATION The paper describes the purpose of a distillation column for methanol production, presents the design of a modernized plate with inclined slots, analyzes its operation, and justifies the feasibility of modernization.

KEYWORDS: METHANOL, RECTIFICATION COLUMN, STEAM GENERATOR, MODERNIZATION.

МОДЕРНІЗАЦІЯ ТАРІЛКИ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА МЕТАНОЛУ

студент Трунін А.О., к.т.н., доц. Степанюк А.Р.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНОТАЦІЯ У роботі описано призначення ректифікаційної колони для виробництва метанолу, наведено конструкцію модернізованої тарілки з похилими прорізами, проаналізовано її роботу та обґрунтовано доцільність модернізації.

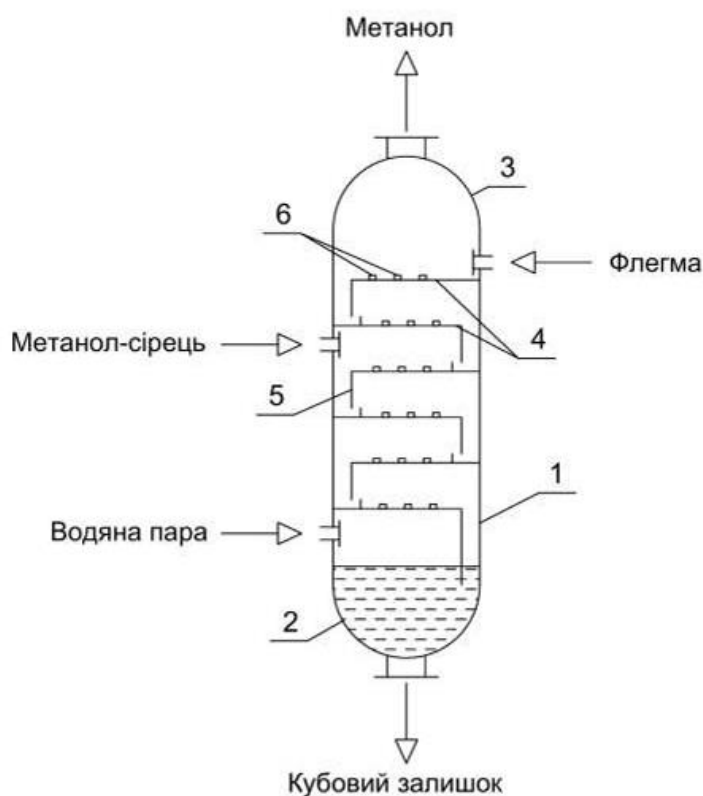
КЛЮЧОВІ СЛОВА: МЕТАНОЛ, РЕКТИФІКАЦІЙНА КОЛОНА, ПАРОГЕНЕРАТОР, МОДЕРНІЗАЦІЯ.

Methanol (CH_3OH) is an important substance used in many industries. For the methanol rectification process, we chose a plate-type rectification column with cap plates. Such a column is the optimal choice for the installation due to its high

efficiency, operation in a wide load range, and increased resistance to mode fluctuations and contamination [1].

The column diagram is shown in Figure 1. The aim of the work is to modernize the distillation column to increase mass transfer efficiency and reduce energy consumption by improving the design of the plates.

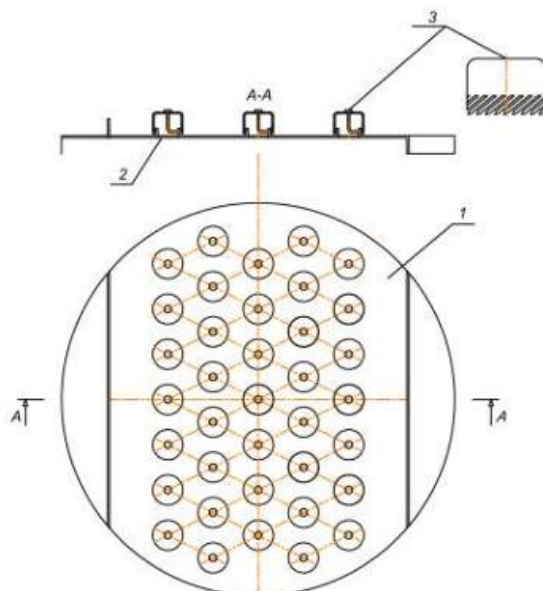
After analyzing the advantages and disadvantages of plate distillation columns, we proposed a modernization of the cap plate in the form of a modified design of the caps, in which their openings are inclined at an angle of 45-60° to the vertical, which allows the vapor to escape not only upward, but also partially to the side, creating turbulence and more active mixing of the liquid [2].



1 – body, 2 – bottom, 3 – lid, 4 – cap plates, 5 – overflow wall, 6 – caps.

Figure 1 – Scheme of a plate distillation column with cap-type plates [1]

The installation diagram of the upgraded cap is shown in Figure 2. The visualization of the column cap upgrade is shown in Figure 3.



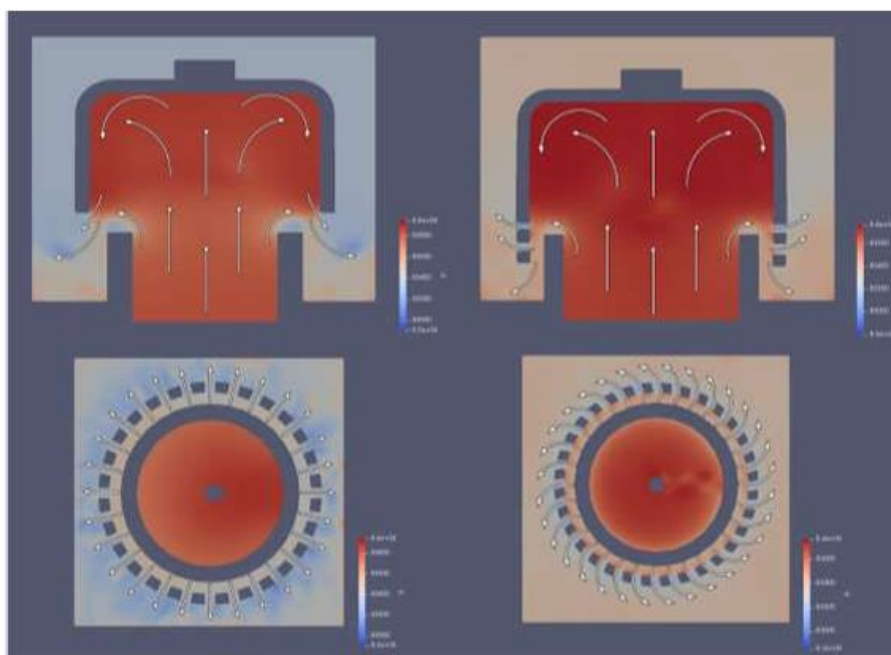
1 – plate; 2 – hole; 3 – caps.

Figure 2 – Installation diagram of the modernized cap [2].



Figure 3 – Visualization of column cap modernization

To prove the feasibility of the modification, a simulation of the operation of a conventional plate cap and one modified using the medium was conducted. FreeCad. The results of the simulation experiment are shown in Figures 4 and 5.



Рисunek 1 - Підведення тиску стандартного ковпака

Рисunek 2 - Підведення тиску модифікованого ковпака

Figure 4 – Results of the pressure simulation experiment

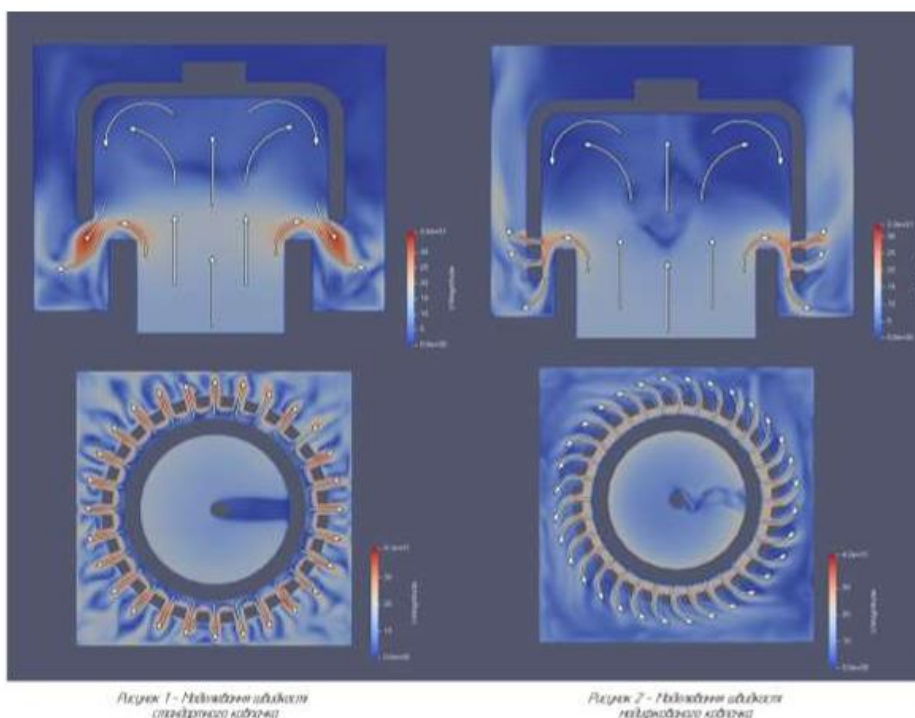


Figure 5 – Results of the speed simulation experiment

The results show that the pressure distribution in the conventional and modernized caps remains practically the same: according to the model, the maximum and average pressure values differ by no more than 2-3%. This is explained by the fact that the total area of the passage holes in the two designs is the same, so the hydraulic resistance of the system almost does not change, and the difference can only arise due to the direction of the steam outlet.

The velocities in the simulation show that in the model of the modernized cap, the inclined holes form a larger vapor dispersion zone compared to the conventional cap, with an increase in the contact area of approximately ~20-25%. This is explained by the fact that the inclined holes direct part of the vapor to the side, forming a wider jet area and increased turbulence, and as a result, the vapor covers a larger part of the

plate surface, mixes the liquid layer more intensively and reduces stagnant areas, which enhances mass transfer.

Conclusion: The modeling conducted in the FreeCAD environment confirmed the feasibility of the proposed modernization. Analysis of pressure and velocity simulations showed that the modernized design promotes more intensive mixing and creates a turbulent gas flow, which improves mass transfer conditions compared to standard caps. Therefore, the proposed technical solution can be recommended for implementation in order to optimize the operation of distillation columns in methanol production.

List of resources:

1. Trunin AO, Stepaniuk AR // Modernization of the methanol production installation with the development of a rectification column and steam generator. // Equipment of chemical production and construction material enterprises: abstracts of the XXXV All-Ukrainian scientific-practical conference of students, postgraduates and young scientists, December 1-3, 2024, Kyiv. - Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2025
2. Trunin AO, Stepaniuk AR // Modernization of the trays of the rectification column of the methanol production unit. // Equipment of chemical production and building materials enterprises: abstracts of the XXXVI All-Ukrainian scientific-practical conference of students, postgraduates and young scientists, May 28-29, 2025, Kyiv. - Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2025.

Додаток Е CFD аналіз роботи нової конструкції ковпачків тарілчастої ректифікаційної колони

Метанол (CH_3OH) є важливою речовиною, яка використовується у багатьох галузях промисловості. Він слугує сировиною для виробництва формальдегіду, третбутилметилового етеру, розчинників, смол і пестицидів, які є основою для багатьох виробничих процесів. Також в енергетиці він застосовується як екологічно чисте паливо, добавка до пального, або у виробництві біопалива.

Окрім традиційного застосування, використання метанолу шляхом уловлювання і перетворення вуглекислого газу у корисну сировину сприяє екології. Саме така універсальність робить метанол незамінним у багатьох галузях [2].

Однією з ключових стадій виробництва метанолу є ректифікація, що забезпечує отримання високочистого метанолу з сирцю. У ректифікаційній колоні процес відбувається завдяки багаторазовому контакту парової та рідкої фаз на тарілках. Від ефективності роботи цих самих тарілок і залежить якість розділення, стабільність роботи установки та енергетичні витрати.

Мета даної роботи – перевірка ефективності розробленої конструкції ковпачків тарілки.

Е.1. Матеріали та методи

CFD-моделювання (Computational Fluid Dynamics) належить до галузі механіки суцільних середовищ і дозволяє досліджувати поведінку потоків за допомогою чисельних та фізико-математичних методів. Такий підхід дає можливість прогнозувати розподіл температур, аналізувати рух повітряних чи

Відповідальна організація КПІ ім. Ігоря Сікорського	Технічне узгодження Новохат	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа Кафедра МАХНВ	Розробник документа Трунін	Назва, додаткова назва Модернізація установки виробництва метанолу з розробкою ректифікаційної колони та парогенератора		ЛМ4.1МП.14.100.001			
	Документ затверджено Степанюк			Інд. змін	Дата видання	Мова UA	Аркуш 194

рідинних потоків у діючих або проєктованих системах та оцінювати їх характеристики ще на етапі проєктування.

Процес CFD-моделювання традиційно включає три основні етапи:

- Підготовчий: створення геометричної моделі, визначення фізичних умов та початкових параметрів;
- Розрахунковий: чисельне розв'язання системи рівнянь течії на основі вибраного математичного методу;
- Аналітичний: опрацювання отриманих результатів, побудова графіків, полів розподілу та їх інтерпретація.

Для будь-якого гідродинамічного аналізу використовується система основних рівнянь, що описують поведінку потоку: рівняння нерозривності, рівняння збереження імпульсу та інші рівняння Нав'є–Стокса. Чисельне розв'язання цієї системи може здійснюватися різними підходами, серед яких найпоширенішим є метод скінченних об'ємів.

У даній роботі комп'ютерне моделювання виконувалося в середовищі FreeCAD із використанням CFD-модуля «CfdOF», що ґрунтується на OpenFOAM. Обчислення проводилися за методом скінченних об'ємів, який передбачає поділ області розрахунку на систему контрольних об'ємів, що не перетинаються між собою. Для кожного контрольного об'єму формується локальне рівняння, на основі чого складається система лінійних рівнянь. Розв'язання цієї системи дає значення шуканих гідродинамічних параметрів у вузлових точках сітки.

Е.2. Результати та їх обговорення

Для усунення недоліку нерівномірного барботажу та зменшення енергоспоживання в ректифікаційній колоні запропоновано модернізувати її

ковпачкові тарілки. Суть цієї модернізації полягає у зміні конструкції ковпачка: на його бічній поверхні виконуються прорізи під кутом (45-60°) до вертикалі, що дозволяє парі виходити не лише вгору, а й частково вбік, створюючи більш активне перемішування рідини [77]. Схему модернізації ковпачка наведено на рисунку Е.1.

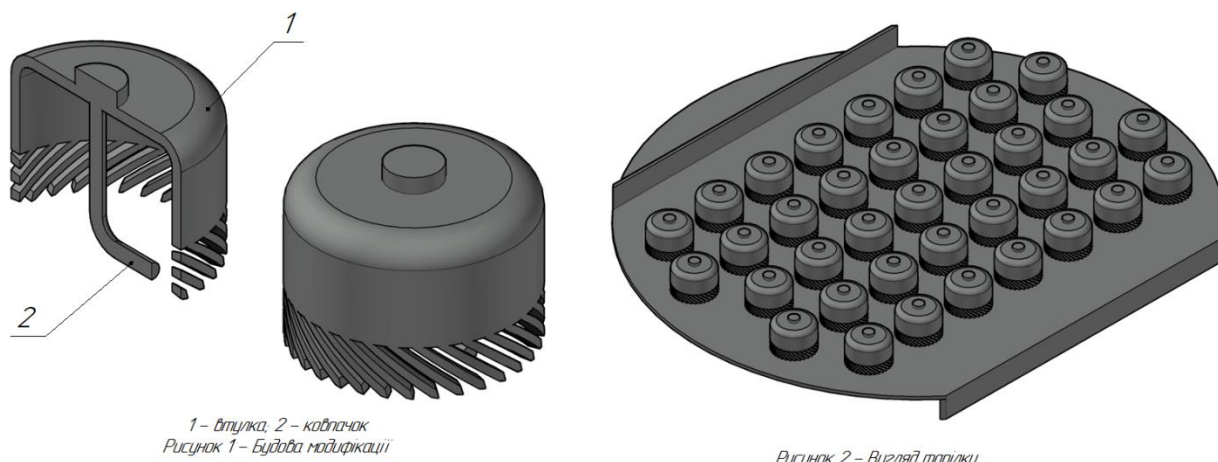


Рисунок Е.1. – Схема модернізації

Запропонована модернізація усуває недолік нерівномірного барботажу та підвищених енерговитрат. Завдяки похилим прорізам, що спрямовують пару по дотичній, рідина закручується навколо стояка, забезпечуючи рівномірний турбулентний барботаж. Це покращує масообмін, зменшує перепад тиску і підвищує енергоефективність колони [77].

Для доведення доцільності модифікації було проведено симуляцію роботи звичайного ковпачка тарілки (для порівняння) та модифікованого за допомогою середовища FreeCad.

Аналіз симуляцій тиску та швидкості показав, що модернізована конструкція сприяє більш інтенсивному перемішуванню та створює турбулентний потік газу, що покращує умови масообміну порівняно зі стандартними ковпачками [78]. Результати симуляційного експерименту зображені на рисунках Е.1. та Е.2.

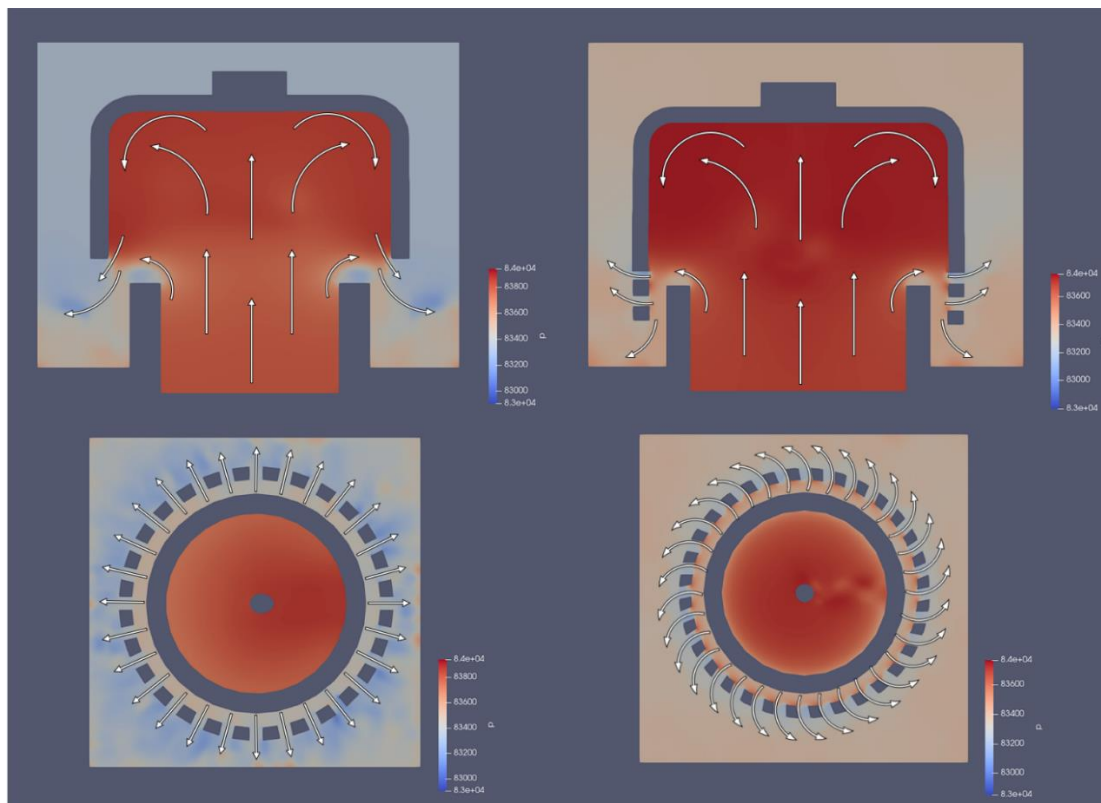


Рисунок 1 – Моделювання тиску стандартного кабінчика

Рисунок 2 – Моделювання тиску модифікованого кабінчика

Рисунок Е.2. – Візуалізація тиску

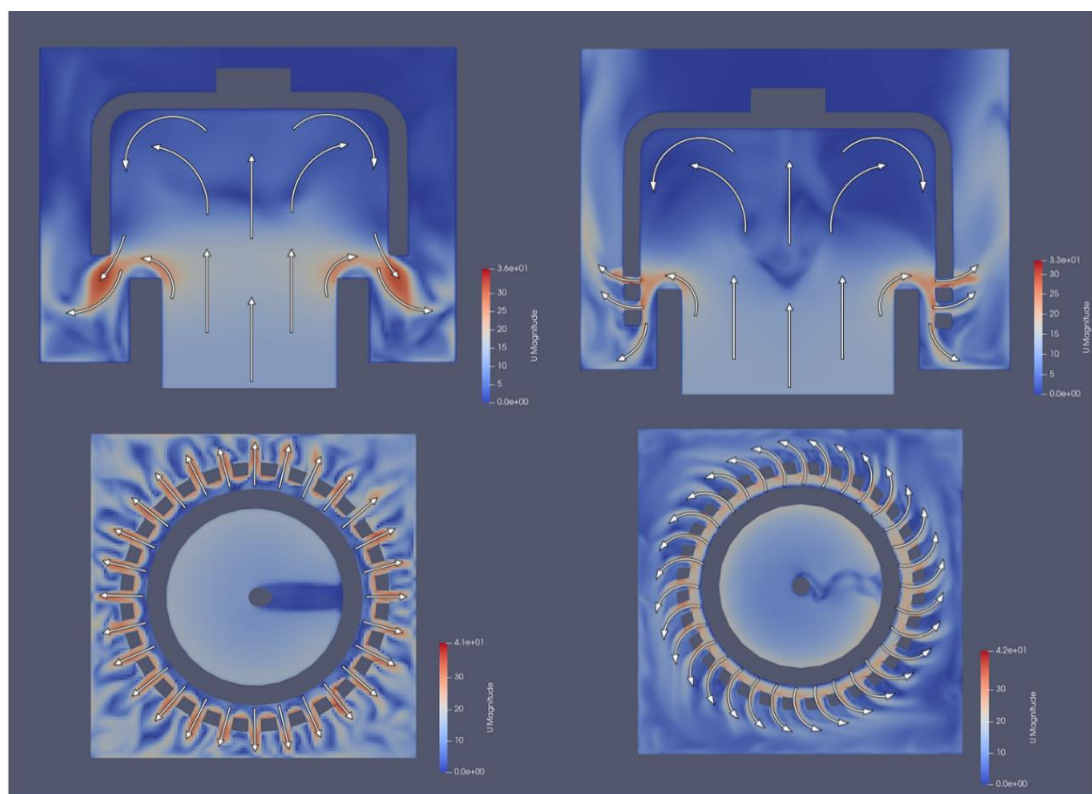


Рисунок 1 – Моделювання швидкості стандартного кабінчика

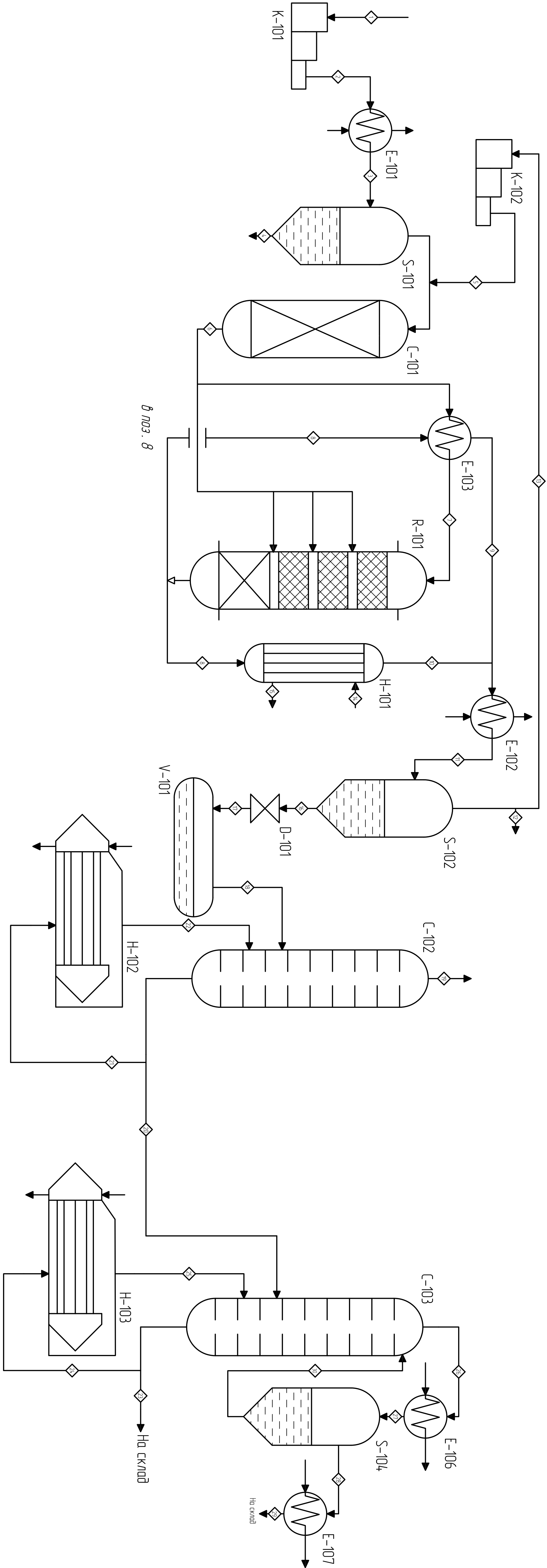
Рисунок 2 – Моделювання швидкості модифікованого кабінчика

Рисунок Е.3. – Візуалізація швидкості потоків

Е.3. Висновок

Проведене моделювання у середовищі FreeCAD підтвердило доцільність запропонованої модернізації, отже, запропоноване технічне рішення може бути рекомендоване для впровадження з метою оптимізації роботи ректифікаційних колон у виробництві метанолу.

Номер потоку	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Речовина	Синтез 203	Синтез 203	Синтез 203	Вода	Синтез 203 без води	Газовда сумиш	Газ	Газовда сумиш	Газовда сумиш	Газовда сумиш	Охолой 203 сумиш	Продукція 203	Циркул. 203	Вода	Пара	Метанол вода	Метанол сирець	Метанол сирець	Газу	Метанол сирець	Вода	Пар	Вушні сирпми	Вода	Пар	Сумиш метанолу	Сумиш метанолу	Сумиш метанолу	Метанол	Сумиш метанолу
Температура, °C								300												78					78	100				
Тиск, МПа		5-9			5-9												0,1	0,101		0,101	0,101	0,101			0,101	0,101				



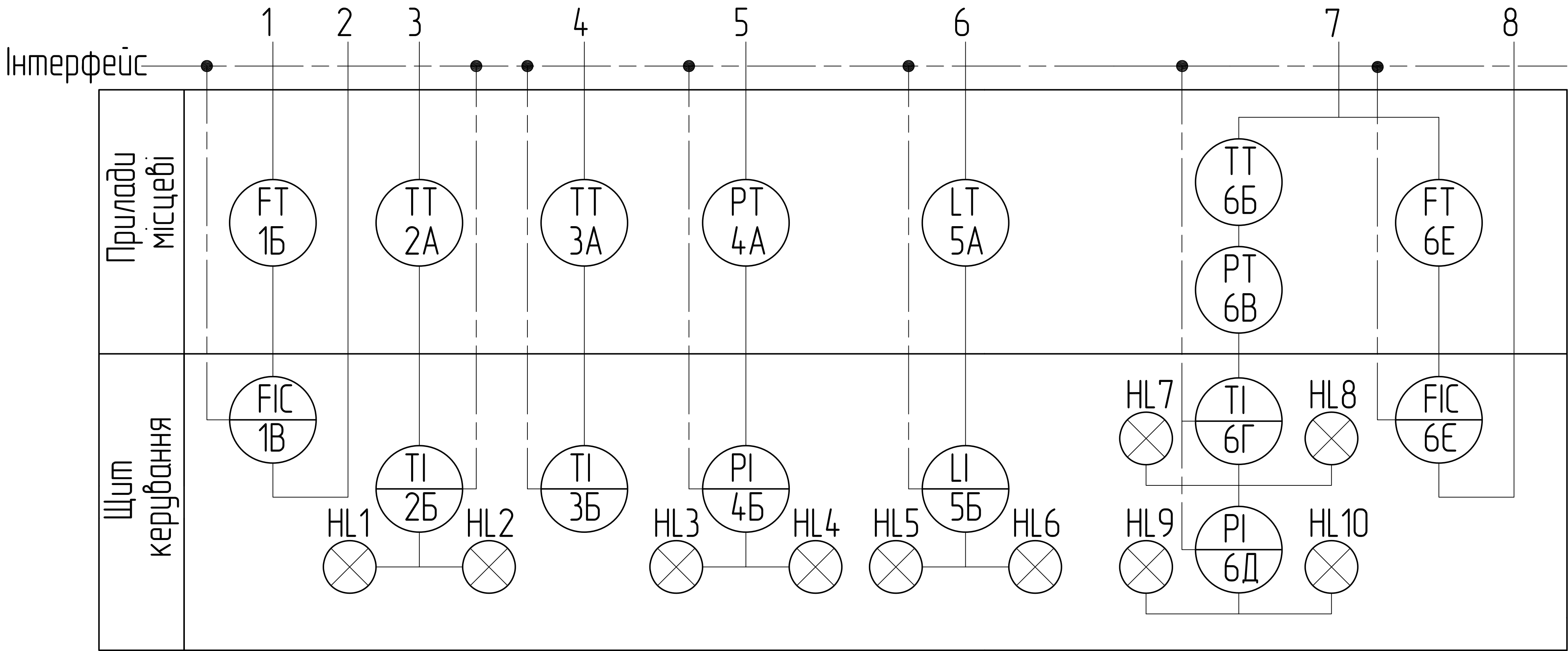
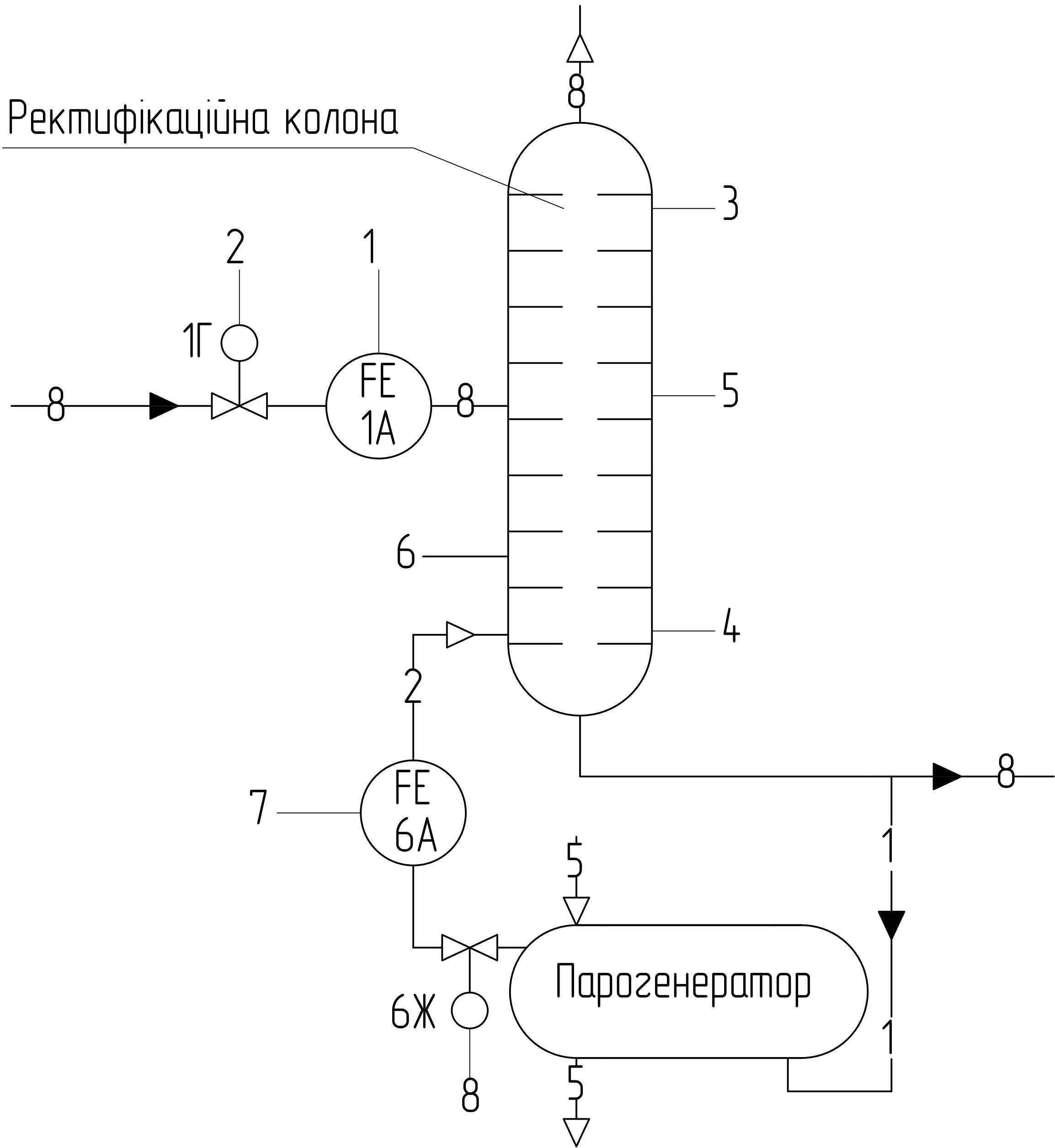
K-101	K-102	E-101	S-101	C-101	R-101	E-102	E-103	H-101	S-102	D-101	V-101	C-102	C-103	H-102	H-103	E-104	E-105	S-103	E-106	E-107	S-104
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Виробнича організація Корейра МАХНВ	Технічне узгодження Нобохом О.	Розробник документу Ірджин А.	Логістичне затвердження Сметенчик А.	Наданий
--	-----------------------------------	----------------------------------	---	---------

Виснавки документу КПІ ім. Ігоря Скорського	Вий документу ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА	Складіть документу
--	-------------------------------------	--------------------

Турбо компресор	Циркуляційний компресор	Холодильник	Сенсоратор	Адсорбер	Ректоратор однов. тиску	Холодильник	Термообмінник	Комп'ютеризатор	Сенсоратор	Дросель	Збірник метанолу-сирцю	Ректифікаційна колона	Ректифікаційна колона	Парогенератор	Парогенератор	Термообмінник	Термообмінник	Сенсоратор	Термообмінник	Термообмінник	Сенсоратор									
-----------------	-------------------------	-------------	------------	----------	-------------------------	-------------	---------------	-----------------	------------	---------	------------------------	-----------------------	-----------------------	---------------	---------------	---------------	---------------	------------	---------------	---------------	------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Назва, дата видання, набір	Варіант документу	Місце, дата видання	Місце, дата видання	Місце, дата видання
----------------------------	-------------------	---------------------	---------------------	---------------------



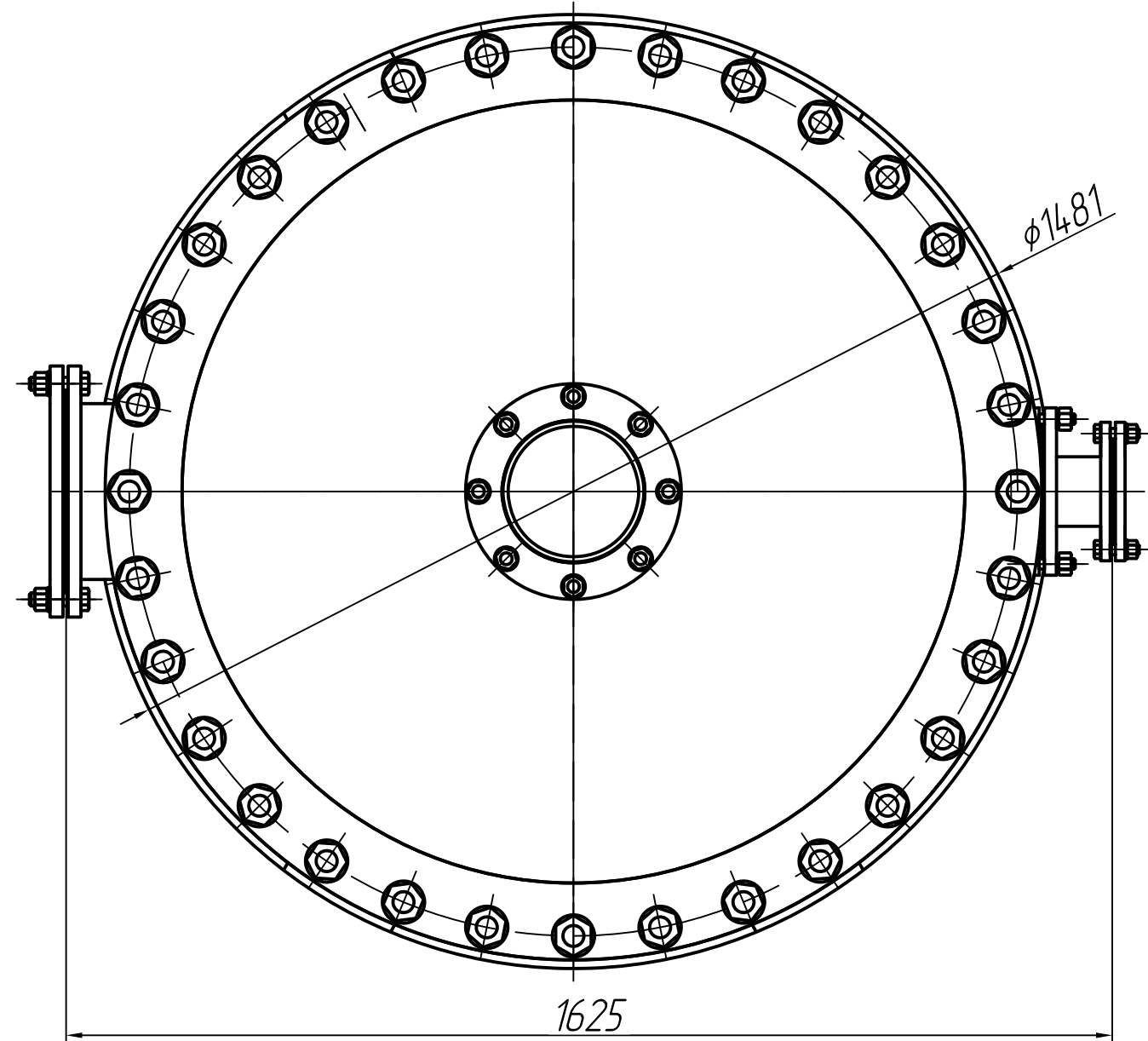
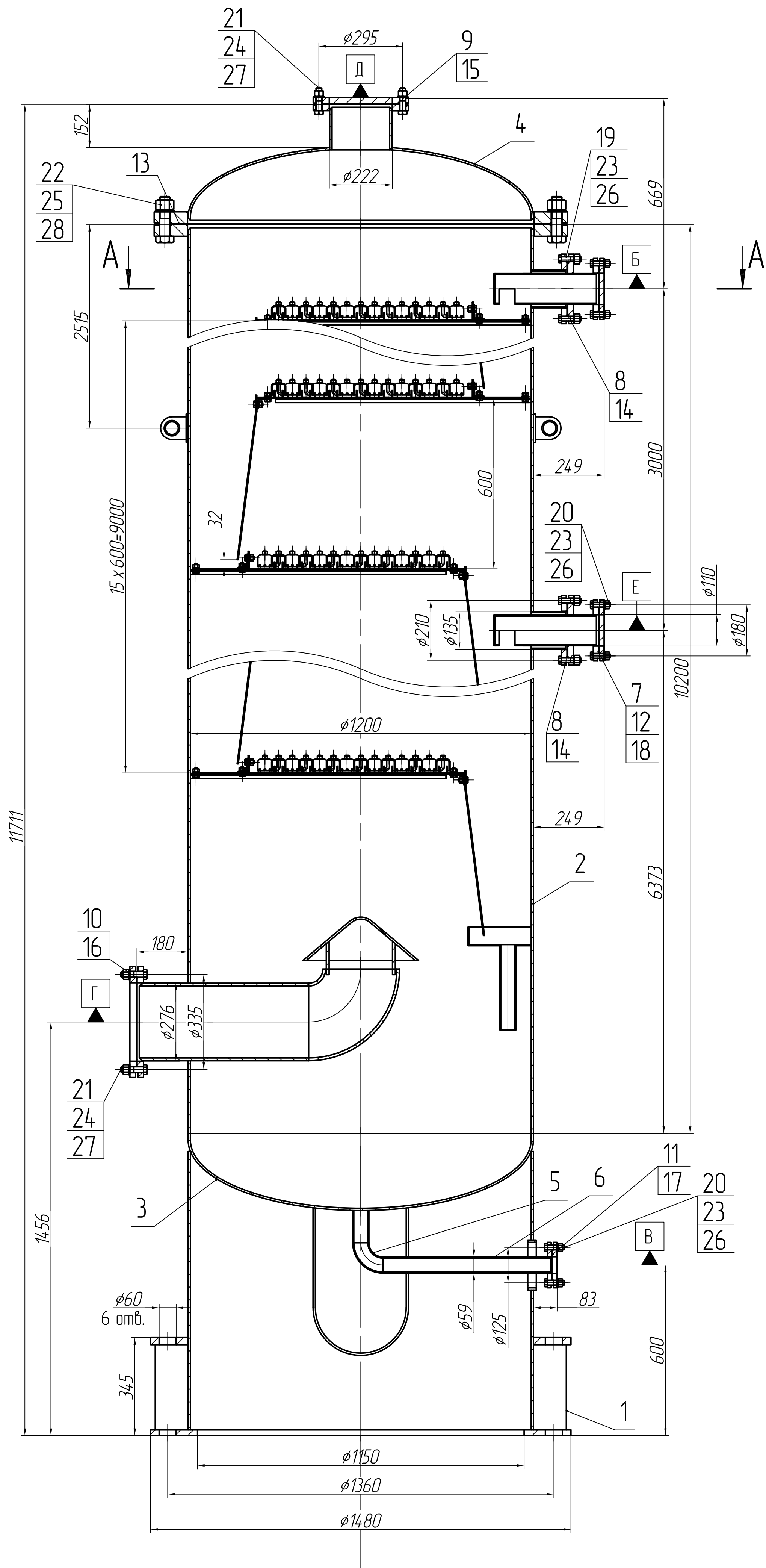
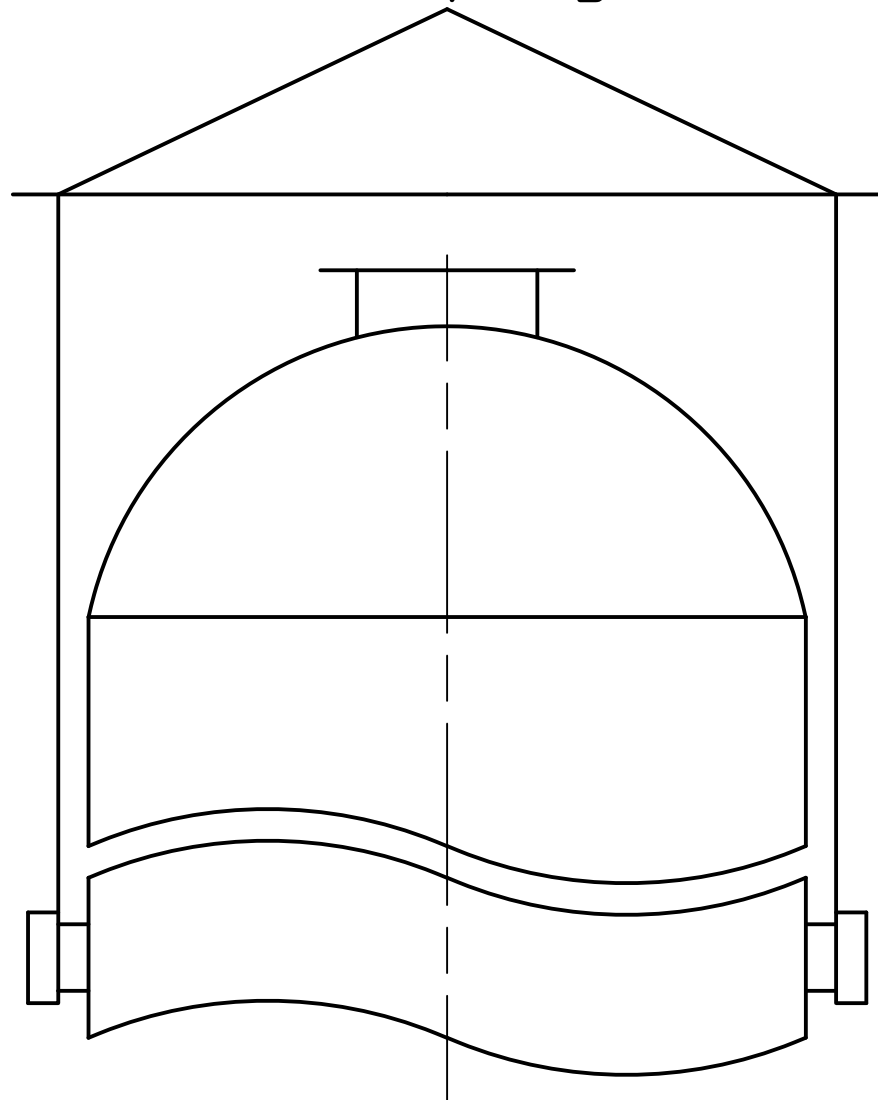
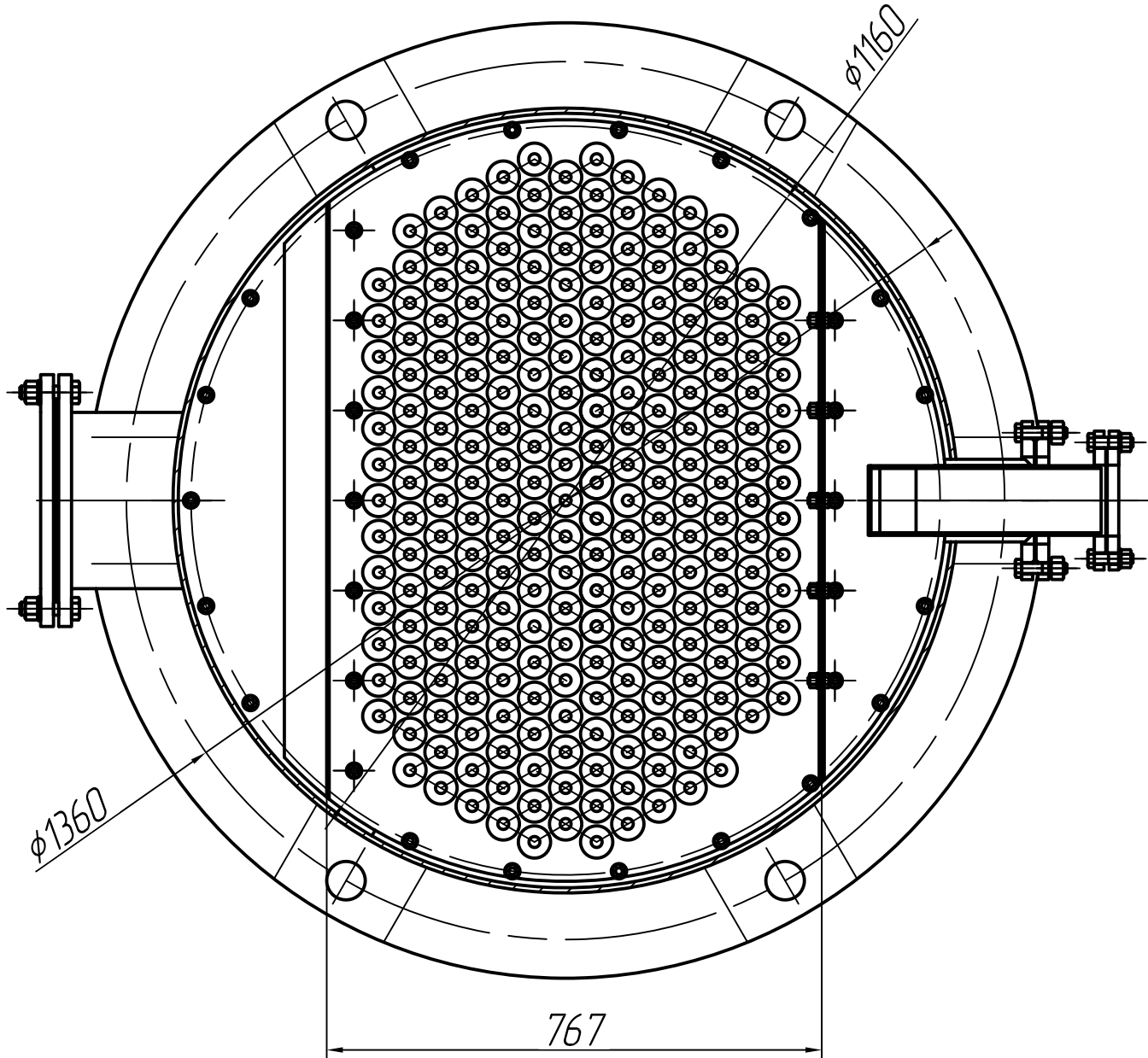


Схема стропування



A-A (1:10)



Таблиця штуцерів

Позначення	Найменування	Кількість	Прохід номінальний D, мм	Тиск номінальний P, МПа
Б	Вхід флегми	1	100	0,1
В	Вихідкудлого залишку	1	50	0,1
Г	Вхід пари	1	250	0,1
Д	Вихід пари	1	200	0,1
Е	Вхід вихідної суміші	1	100	0,1

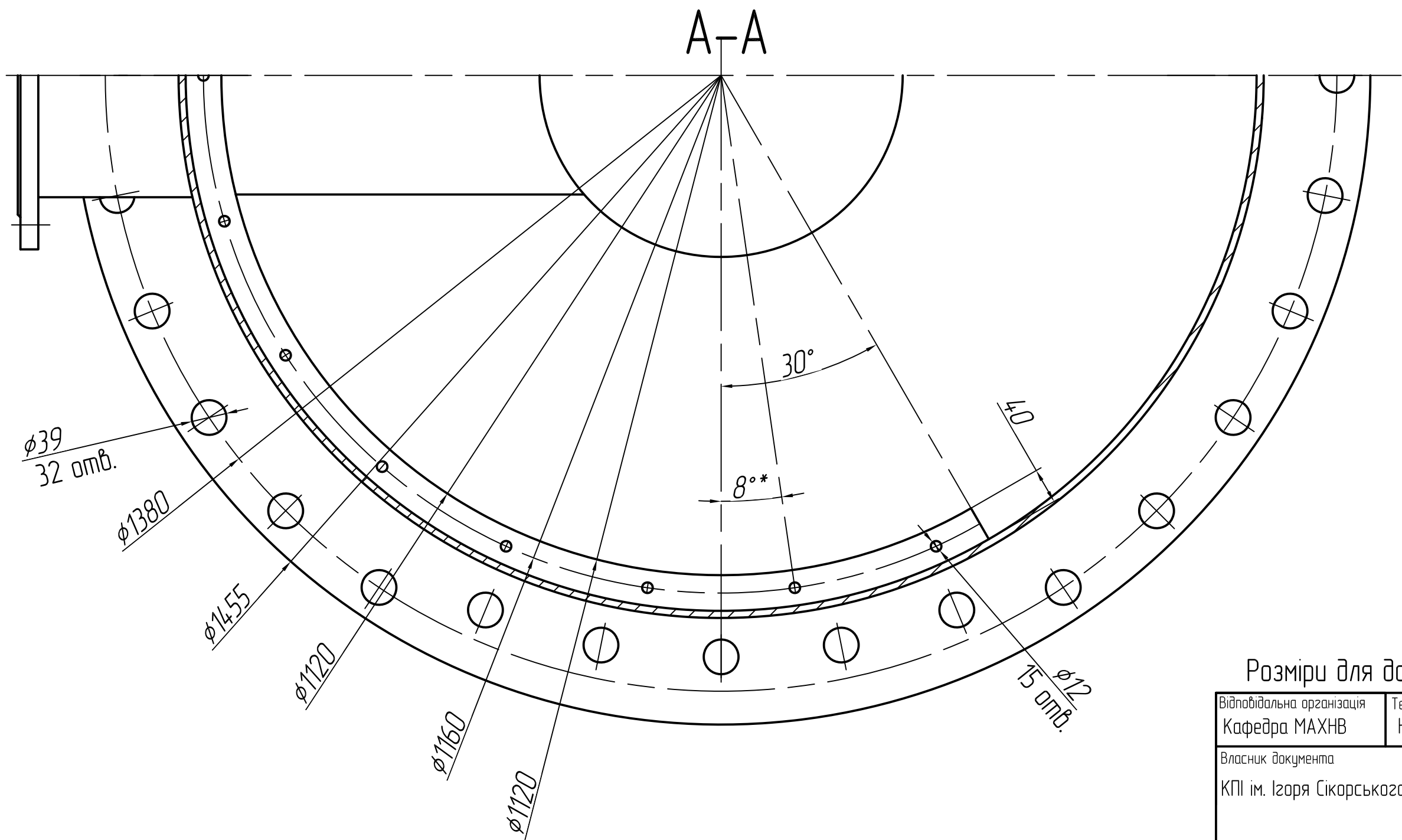
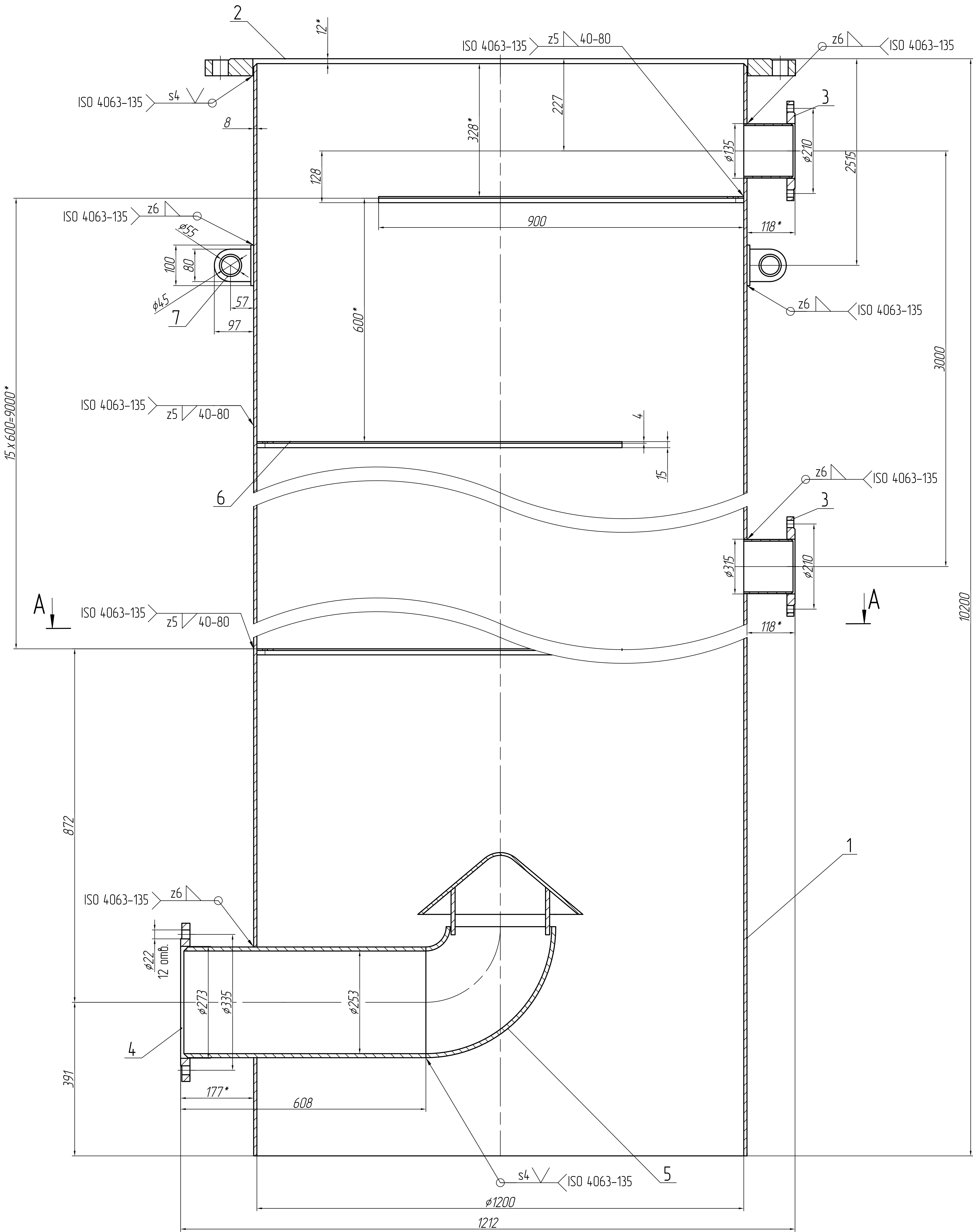
Технічна характеристика

Позначення	Характеристика	
1	Висота колони, м	10,2
2	Діаметр колони, м	1,2
3	Маса колони, кг	3800
4	Розрахунковий тиск, МПа	0,101
5	Тип колони	тарілчаста
6	Тип тарілок	ковпачкові
7	Кількість тарілок, шт.	16
8	Міжтарілковий крок, м	0,6

Технічні вимоги

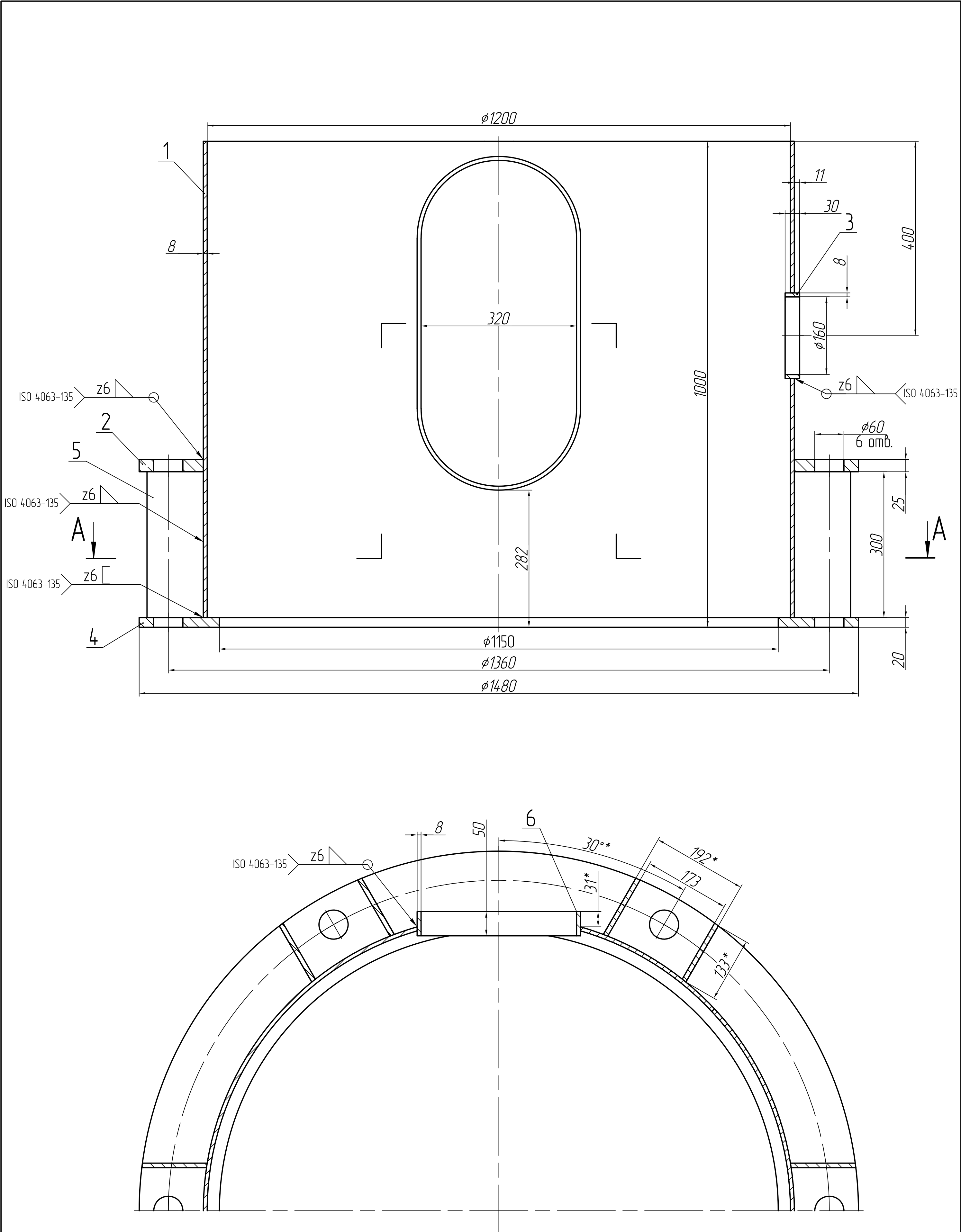
Позначення	Технічні вимоги
1	При виготовленні, випробуванні та доставці апарата повинні виконуватись наступні вимоги з ISO 12100 2010 – “Безпека машин”.
2	Матеріал
деталей колони які контактують з рідинами – сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632 – 72	
інші – сталь 35 ГОСТ 1050 – 88	
3	Апарат випробовувати на міцність та стійкість гідравлічно в горизонтальному положенні тиском 0,1 МПа.
4	Розміри для довідок.

Відповідальна організація Кафедра МАХНВ	Технічне узгодження Нобохат О.	Розробник документа Тручин А.	Документ затверджено Степанюк А.	Масштаб 1:10		
Власник документа КПІ ім. Ігоря Сікорського		Вид документа Складальний кресленик		Статус документа		
		Назва, додаткова назва Ректифікаційна колона		ЛМ4.1МП.14.101.001 СК		
		інд. змк.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1	



Розміри для довідок, окрім *

Відповідальна організація Кафедра МАХНВ	Технічне узгодження Нобохат О.	Розробник документа Тручин А.	Документ затверджено Степанюк А.	Масштаб 1:4
Власник документа КПІ ім. Ігоря Сікорського	Вид документа Складальний кресленик	Статус документа		
Назва, додаткова назва Царга		ЛМ4.1МП.14.101.102 СК		
Інд. змін.		Дата видання	Місце ЦА	Аркуш 1



Розміри для довідок, окрім *

Відповідальна організація Кафедра МАХНВ	Технічне узгодження Новохат О.	Розробник документа Трунін А.	Документ затверджено Степанюк А.		Масштаб 1:5
Власник документа КПІ ім. Ізгоря Сікорського		Вид документа Складальний кресленик		Статус документа	
		Назва, додаткова назва Опорна обичайка		ЛМ4.1МП.14.101.101 СК	
				Інд. змін.	Дата видання
				Мова UA	Аркуш 1

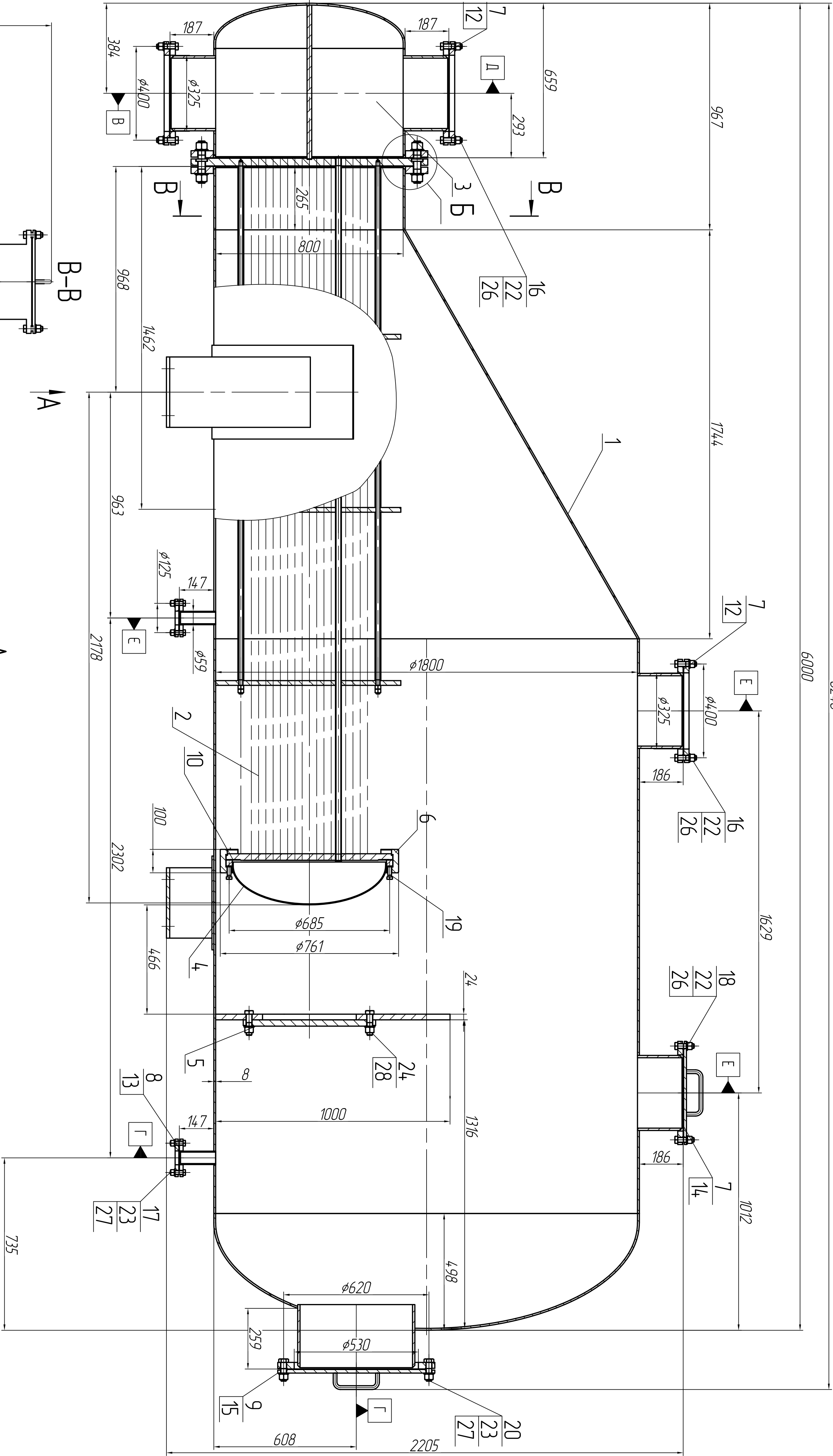
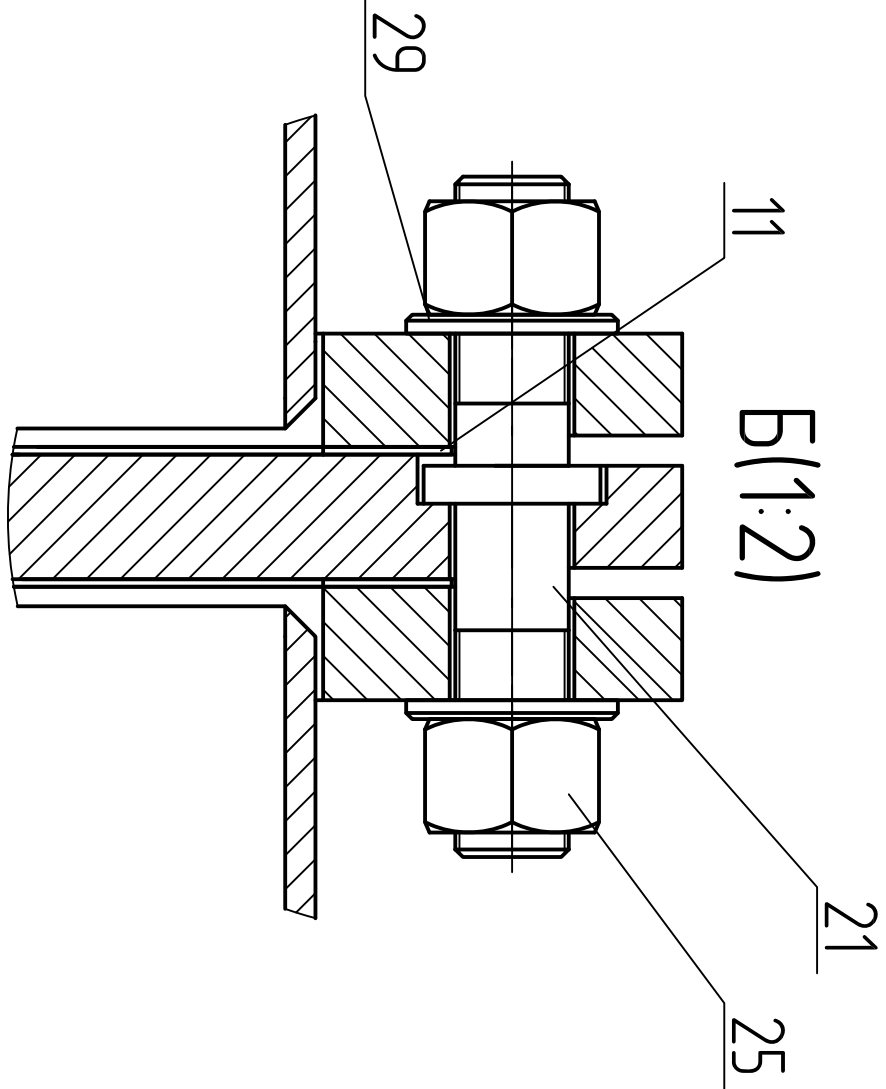
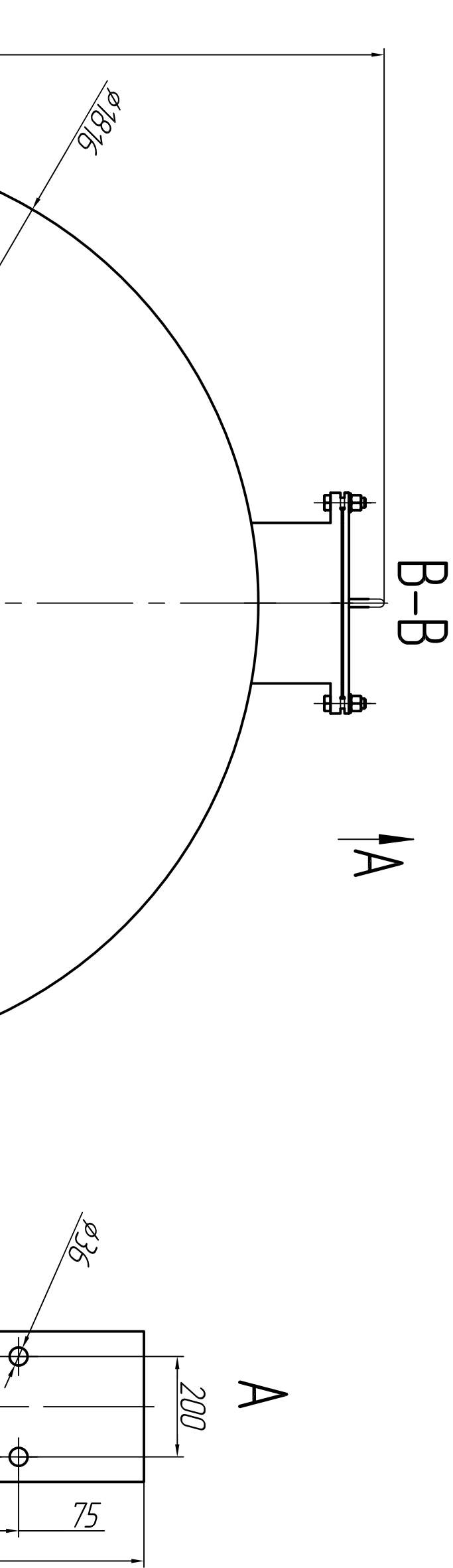


Схема строповки

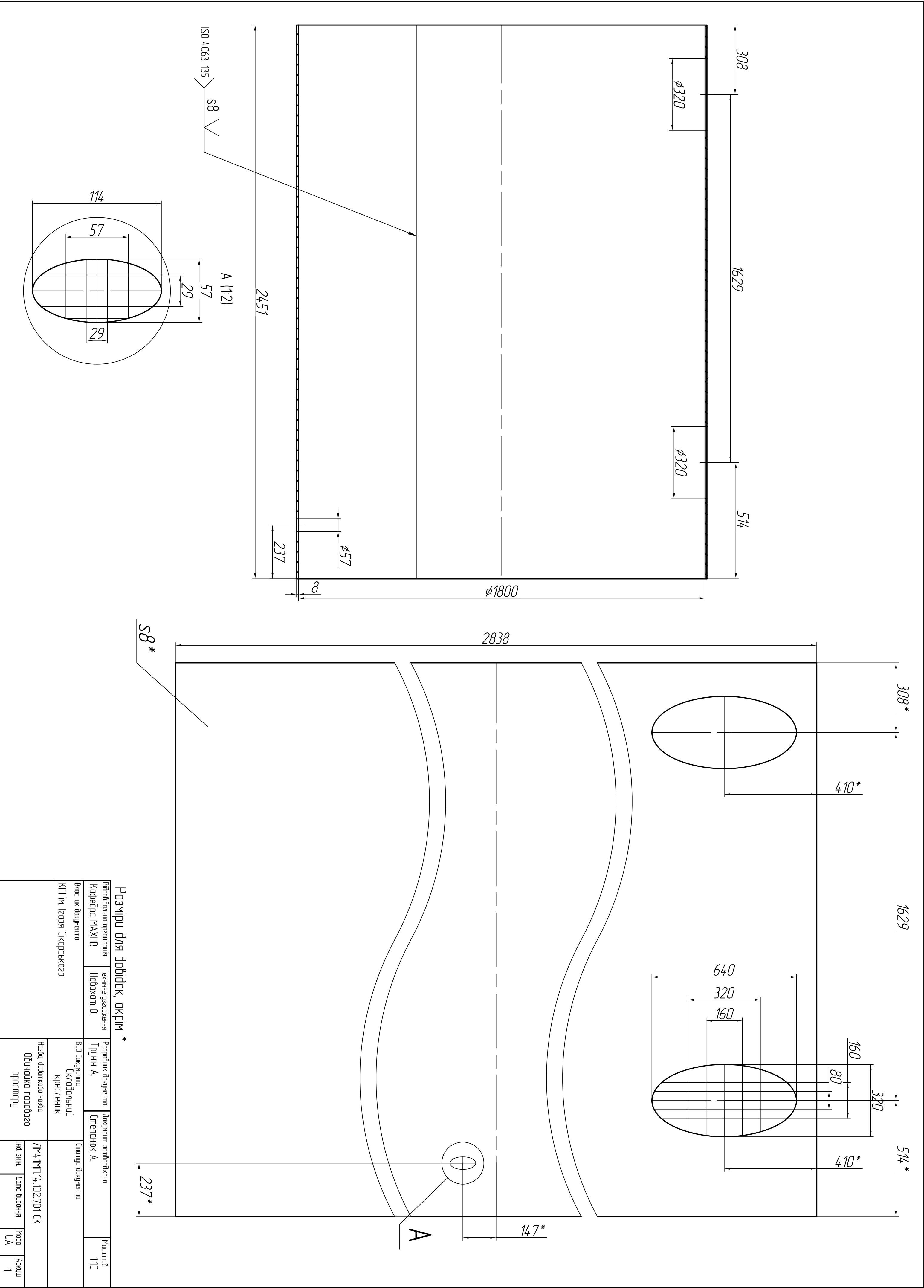


Позначення	Найменування	Кількість	Прохід номінальний D, мм	Тиск номінальний P, МПа
В	Вхід нагрівача	1	300	12
Г	Залишок	2	25	10
Д	Вихід нагрівача	1	300	10
Е	Вихід пари	2	300	0,6
З	Вхід води	1	25	10

Технічні вимоги			
Позначення	Характеристика		
1	Продуктивність парогенератора, кг/с		
2	Робочий тиск, МПа		
3	Довжина парогенератора, м		
4	Висота парогенератора, м		
5	Маса парогенератора, кг		
6	Довжина труб, м		
7	Кількість труб, шт		

Таблиця шпигерів	
Позначення	Технічні вимоги
1	Матеріал
Ветми колонни, що контактують із рідинною - сталь 12Х18Н10Т (ГОСТ 5632-72)	
опорні елементи - Ст3пс (ГОСТ 380-94)	
шпильки та болти - сталь 35 (ГОСТ 1050-88)	
2	Гідравлічні випробувальні, МПа
у трубному просторі - 1,25	
у міжтрубному просторі - 1,0	
3	Розміри для довідок.

Виробничою організацією Кодифікація МАХНВ	Технічне узгодження Ногохот Д.	Розробник документу Грині А.	Листувач документу Степанчик А.	Носитель документа 110				
Висновок документу КПІ ім. Ігоря Сікорського	Висновок документу Головний інженер	Висновок документу Кресленник	Висновок документу Листувач документу	Носитель документа 110				
		Назва, підпис, дата			/М.А. МП/14.10.2001 СК			
		Парогенератор			Модель 1			



Розміри для добіток, окрім *

Відповідальна організація	Технічне узгодження	Розробник документа	Документ затверджено	Масштаб
---------------------------	---------------------	---------------------	----------------------	---------

Кафедра МАХНВ	Нобохан О.	Трунін А.	Степанюк А.	1:10
---------------	------------	-----------	-------------	------

Власник документа	Вид документа	Сполиць документа
-------------------	---------------	-------------------

КПІ ім. Ізора Сікорського	Складальний кресленик	
---------------------------	-----------------------	--

Назва, додаткова назва	Лист 14.102.701 СК	Інв. змін	Дата видання	Мова	Архив
------------------------	--------------------	-----------	--------------	------	-------

Об'єкція парового простору	1	1	1	1	1
----------------------------	---	---	---	---	---

Поз- нака	Позначення	Посилання	Кіль.	Матеріал	Примітка
	<u>Документація</u>				
	Складальний кресленик	ЛМ4 1МП.14.101.001 СК	1		
	<u>Складальні одиниці</u>				
1	Опорна обичайка	ЛМ4 1МП.14.101.101	1		
2	Царга	ЛМ4 1МП.14.101.102	1		
3	Еліптичне днище	ЛМ4 1МП.14.101.103	1		
4	Еліптична кришка	ЛМ4 1МП.14.101.104	1		
	<u>Деталі</u>				
5	Коліно	ЛМ4 1МП.14.101.201	1		
6	Штуцер	ЛМ4 1МП.14.101.202	1		
7	Штуцер	ЛМ4 1МП.14.101.203	2		
8	Прокладка	ЛМ4 1МП.14.101.204	2		
9	Прокладка	ЛМ4 1МП.14.101.205	1		
10	Прокладка	ЛМ4 1МП.14.101.206	1		
11	Прокладка	ЛМ4 1МП.14.101.207	1		
12	Прокладка	ЛМ4 1МП.14.101.208	2		
13	Прокладка	ЛМ4 1МП.14.101.209	1		
14	Фланець	ЛМ4 1МП.14.101.210	2		
15	Фланець	ЛМ4 1МП.14.101.211	1		
16	Фланець	ЛМ4 1МП.14.101.212	1		
17	Фланець	ЛМ4 1МП.14.101.213	1		
18	Фланець	ЛМ4 1МП.14.101.214	2		
Відповідальна організація Кафедра МАХНВ		Технічне узгодження Нобохат	Вид документа Специфікація		Статус документа
Власник документа КПІ ім. Ігоря Сікорського		Розробник документа Трунін	Назва, додаткова назва Ректифікаційна колона		ЛМ4 1МП.14.101.001
		Документ затверджує Степанюк			
			Інд. змін.	Дата видання 10.25	Мова UA
					Аркуш 1/2

Поз- нака	Позначення	Посилання	Кіль.	Матеріал	Примітка
	<u>Стандартні вироби</u>				
	Болти	ISO 7798		Cт35	
19		M16x75	16		
20		M16x60	20		
21		M20x80	20		
22		M36x140	32		
	Гайки	ISO 5915		Cт35	
23		M16-3	36		
24		M20-4	20		
25		M36-6	32		
	Шайби	ISO 11371		Cт35	
26		16	36		
27		20	20		
28		36	32		
Власник документа КТІ ім. Ігоря Сікорського		Назва, додаткова назва, номер ЛМ4.1МП.02.101.001			Аркуш 2/2

[illegible]

[illegible]

Поз- нака	Позначення	Посилання	Кіль.	Матеріал	Примітка
	<u>Документація</u>				
	Складальний кресленик	ЛМ4 1МП.14.102.001 СК	1		
	<u>Складальні одиниці</u>				
1	Корпус	ЛМ4 1МП.14.102.501	1		
2	Трудний пучок	ЛМ4 1МП.14.102.502	1		
3	Розподільча камера	ЛМ4 1МП.14.102.503	1		
4	Кришка	ЛМ4 1МП.14.102.504	1		
5	Кришка	ЛМ4 1МП.14.102.505	1		
	<u>Деталі</u>				
6	Кронштейн	ЛМ4 1МП.14.102.601	8		
7	Прокладка	ЛМ4 1МП.14.102.602	4		
8	Прокладка	ЛМ4 1МП.14.102.603	2		
9	Прокладка	ЛМ4 1МП.14.102.604	1		
10	Прокладка	ЛМ4 1МП.14.102.605	1		
11	Прокладка	ЛМ4 1МП.14.102.606	2		
12	Фланець	ЛМ4 1МП.14.102.607	3		
13	Фланець	ЛМ4 1МП.14.102.608	2		
14	Люк	ЛМ4 1МП.14.102.609	1		
15	Люк	ЛМ4 1МП.14.102.610	1		
Відповідальна організація Кафедра МАХНВ		Технічне узгодження Нобохат	Вид документа Специфікація		Статус документа
Власник документа КПІ ім. Ігоря Сікорського		Розробник документа Трунін	Назва, додаткова назва Парогенератор		ЛМ4 1МП.14.102.001
		Документ затверджує Степанюк			нд. змін. Дата видання 10.25 Мапа UA Аркуш 1/2

Поз- нака	Позначення	Посилання	Кіль.	Матеріал	Примітка
	<u>Стандартні вироби</u>				
	Болти	ISO 4014		Ст35	
16		M20x80	36		
17		M16x55	8		
18		M20x70	12		
19		M16x45	8		
20		M24x80	20		
21	Шпилька	M30x180x2 ISO 8981	24	Ст35	
	Гайки	ISO 5915		Ст35	
22		M20-6	60		
23		M16-6	8		
24		M24-6	16		
25		M30-6	48		
	Шайби	ISO 11371		Ст35	
26		20	60		
27		16	8		
28		24	16		
29		30	48		
Власник документа КПІ ім. Ігоря Сікорського		Назва, додаткова назва, номер ЛМ4.1МП.14.102.001			Аркуш 2/2

[illegible]

Поз- нака	Позначення	Посилання	Кіль.	Матеріал	Примітка
	<u>Документація</u>				
	Складальний кресленник	ЛМ4 1МП.14.102.501 СК	1		
	<u>Деталі</u>				
1	Обичайка парового простору	ЛМ4 1МП.14.102.701	1		
2	Обичайка перехідна	ЛМ4 1МП.14.102.702	1		
3	Обичайка	ЛМ4 1МП.14.102.703	1		
4	Фланець	ЛМ4 1МП.14.102.704	1		
5	Штуцер	ЛМ4 1МП.14.102.705	2		
6	Штуцер	ЛМ4 1МП.14.102.706	2		
7	Штуцер	ЛМ4 1МП.14.102.707	1		
8	Еліптична кришка	ЛМ4 1МП.14.102.708	1		
9	Опора нерухома	ЛМ4 1МП.14.102.709	2		
	<u>Стандартні вироби</u>				
10	Болт	M24x110 ISO 7798	24	Ст35	
Відповідальна організація Кафедра МАХНВ		Технічне узгодження Нобохат	Вид документа Специфікація		Статус документа
Власник документа КПІ ім. Ігоря Сікорського		Розробник документа Трунін	Назва, додаткова назва Корпус		ЛМ4 1МП.14.102.501
		Документ затверджую Степанюк			
			нд. змін.		Дата видання 10.25
			Мапа UA		Аркуш 1

[illegible]