

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

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри МАХНВ

\_\_\_\_\_ Андрій СТЕПАНЮК  
(підпис)

“ \_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**Напрямок підготовки:** 13 – Механічна інженерія

**Спеціальність:** 133 – Галузеве машинобудування

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

**на тему: Модернізація установки виробництва етанової кислоти з розробкою теплообмінника**

**Виконав студент IV курсу, групи ЛН-91**

Євгеній ГУРИН

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Керівник проекту**    ст. викл, к.т.н. Сергій ГАЙДАЙ  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Консультанти:**  
з охорони праці    доцент, к.т.н., Андрій КОВТУН  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

з економіки    доцент, к.т.н., Олен НОВОХАТ  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Рецензент:**  
\_\_\_\_\_  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

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

Студент \_\_\_\_\_ Євгеній ГУРИН

Київ – 2023

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

**Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальності: 133 Галузеве машинобудування

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Андрій СТЕПАНЮК

“ \_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проект студенту**

Гурина Євгенію Станіславовичу

**1. Тема проекту:** Модернізація установки виробництва етанової кислоти з розробкою теплообмінника.

Керівник проекту старший викладач, к.т.н. Гайдай С. С.

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

**2. Термін подання студентом проекту:** «14» червня 2023 р.

**3. Вихідні дані до проекту:** початкова температура водо-спиртової суміші 20 °С; кінцева температура водо-спиртової суміші 118; продуктивність за метиловим спиртом 4 кг/с.

**4. Зміст пояснювальної записки:** а) основна частина: розглянути існуючі конструкції теплообмінників, обґрунтувати вибір апарата; здійснити розрахунки, що підтвердять працездатність та надійність конструкції: параметричний, конструктивний та гідравлічний, розрахунки на міцність і надійність елементів конструкції; виконати складальне креслення теплообмінника та його основних

складальних одиниць і деталей; розробити рекомендації щодо монтажу та експлуатації апарата; здійснити оцінку рівня стандартизації та уніфікації розробки;

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

в) рекомендації щодо монтажу та експлуатації: надати рекомендації щодо монтажу та експлуатації теплообмінника.

**5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов’язкових креслень, плакатів, презентацій тощо):** технологічна схема виробництва – А1, складальне креслення: теплообмінника – А1, трубчатка – А1, розподільча камера – А2, кришка – А3, опора – А3; плакати: 3D модель спроектованого теплообмінника – А3. До складальних креслень виконати специфікації.

**6. Консультанти розділів проекту:**

| Розділ        | Прізвище,<br>ініціали та посада<br>консультанта | Підпис, дата      |                     |
|---------------|-------------------------------------------------|-------------------|---------------------|
|               |                                                 | завдання<br>видав | завдання<br>прийняв |
| Охорона праці | Ковтун А. І.<br>доцент, к.т.н.                  |                   |                     |
| Економіка     | Новохат О.А.<br>доцент, к.т.н.                  |                   |                     |

**Дата видачі завдання:** 17 квітня 2023 р.

**Студент**

\_\_\_\_\_

(підпис)

**Євгеній ГУРИН**

**Керівник дипломного проекту**

\_\_\_\_\_

(підпис)

**Сергій ГАЙДАЙ**

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання                                                    | Терміни виконання | Позначки керівника про виконання завдань |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------------------------------|
| 1     | 2                                                                                                                                  | 3                 | 4                                        |
| 1     | Узгодження теми, вихідних даних, визначення джерел інформації. Обґрунтування актуальності проекту.                                 | 18.09.22          |                                          |
| 2     | Опис установки. Схема установки.                                                                                                   | 01.11.22          |                                          |
| 3     | Підготовка матеріалів до публікації тез доповідей щодо особливостей роботи технологічної схеми.                                    | 16.11.22          |                                          |
| 4     | Вибір і опис конструкції теплообмінника. Технічна характеристика установки, апарату. Добір матеріалів.                             | 12.12.22          |                                          |
| 5     | Підготовка матеріалів до публікації тез доповідей щодо вибору апарату з урахуванням аналізу існуючого обладнання.                  | 28.02.23          |                                          |
| 6     | Параметричний розрахунок: визначення основних розмірів апарату. Розрахунок гідравлічного опору теплообмінника                      | 13.03.23          |                                          |
| 7     | Розробка складальних креслень апарату і його складальних одиниць. Добір конструктивних параметрів конструктивних елементів апарату | 20.03.23          |                                          |
| 8     | Розрахунки на міцність. Розробка алгоритмів та програм розрахунку.                                                                 | 15.04.23          |                                          |
| 9     | Уточнення графічної частини проекту та специфікацій                                                                                | 25.04.23          |                                          |
| 10    | Обґрунтування економічної доцільності модернізації                                                                                 | 13.05.23          |                                          |
| 11    | Розробка вимог до апарату з питань охорони праці                                                                                   | 19.05.23          |                                          |

| 1  | 2                                                                                                                                                                                    | 3        | 4 |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---|
| 12 | Оформлення пояснювальної записки. Перевірка відповідності проекту діючим нормам за змістом і оформленням. Підготовка до захисту. Складення плану викладення доповіді, окремих питань | 25.05.23 |   |
| 13 | Попередній захист проекту                                                                                                                                                            | 01.05.23 |   |
| 14 | Корегування проекту за результатами попереднього захисту. Отримання рецензії, відзиву. Підготовка до захисту                                                                         | 05.06.23 |   |

**Студент**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Євгеній ГУРИН

**Керівник дипломного проекту**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Сергій ГАЙДАЙ

Реферат

Модернізація установки виробництва етанової кислоти з розробкою теплообмінника. Дипломний проект освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; Керівник С. С. Гайдай. – К., 2023. – 82 с.: Виконавець – Є.С. Гурин – Бібліограф.: 58 с.

Пояснювальна записка складається зі вступу, 8 розділів, висновків, переліку посилань із 13 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 52 с. основного тексту, 20 рисунків, 4 таблиці і 4 додатки.

Метою проекту є проектування і розробка кожухотрубного теплообмінника, призначеного для нагрівання 4 кг/с метилового спирту.

Поставлена задача досягається шляхом аналітичного визначення поверхні теплообміну, а далі виконання параметричного розрахунку, гідравлічного. А також розрахунків на міцність і стійкість конструкції основних деталей апарата, розрахунку штуцерів та укріплення отворів. Виконано аналіз результатів та зроблено висновки. Наведено список використаної літератури.

Розрахунково-пояснювальна записка містить схему і опис технологічного процесу установки виробництва етанової кислоти та опис конструкції кожухотрубного теплообмінника для нагрівання метилового спирту. Графічна частина проекту включає в себе технологічну схему виробництва – А1, складальне креслення: теплообмінника – А1, трубчатка – А1, розподільча камера – А2, кришка – А3, опора – А3; плакати: 3D модель спроектованого теплообмінника – А3. До складальних креслень виконані специфікації.

НАГРІВАННЯ, СПИРТ, ВОДА, КОЖУХОТРУБНИЙ, ТЕПЛООБМІННИК, ПАРА.

Abstract

Modernization of the ethanoic acid production unit with the development of a heat exchanger. Diploma project of the educational and qualification level "Bachelor" / Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute; Supervisor S. S. Gaidai - K., 2023. 82 p.: Performer - E. S. Gurin - Bibliography: 58 p.

The explanatory note consists of an introduction, 8 chapters, conclusions, and a list of references consisting of 13 titles. The total volume of the work is 52 pages of the main text, 20 figures, 4 tables and 4 appendices.

The aim of the project is to design and develop a shell-and-tube heat exchanger designed to heat 4 kg/s of methyl alcohol.

This task is achieved by analytically determining the heat transfer surface, and then performing parametric and hydraulic calculations. We also calculated the strength and stability of the main parts of the apparatus, calculated the fittings, and reinforced the holes. The results are analyzed and conclusions are drawn. A list of references is given.

The design and explanatory note contains a diagram and description of the technological process of the ethane acid production unit and a description of the design of the shell-and-tube heat exchanger for heating methyl alcohol. The graphic part of the project includes a production flow diagram - A1, assembly drawing: heat exchanger -- A1, tube – A1, distribution chamber -- A2, cover – A3, supporta – A3; posters: 3D model of the designed heat exchanger – A3. Specifications were made for the assembly drawings.

HEATING, ALCOHOL, WATER, SHELL-AND-TUBE, HEAT EXCHANGER, STEAM.

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

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**ДО ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ**  
**на здобуття ступеня бакалавра**

**Напрямок підготовки:** 13 – Механічна інженерія

**Спеціальність:** 133 – Галузеве машинобудування

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

**на тему: Модернізація установки виробництва етанової кислоти з розробкою**  
**теплообмінника**



## ЗМІСТ

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Перелік скорочень, умовних позначень та термінів.....                                             | 11 |
| Вступ.....                                                                                        | 12 |
| 1 Призначення та область використання апарата .....                                               | 13 |
| 1.1 Опис технологічного процесу.....                                                              | 13 |
| 1.2 Вибір типу апарата та його місце в технологічній схемі .....                                  | 15 |
| 2 Технічна характеристика теплообмінника .....                                                    | 16 |
| 3 Опис та обґрунтування обраної конструкції апарата .....                                         | 17 |
| 3.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей апарата.....                        | 17 |
| 3.2 Вибір матеріалів .....                                                                        | 18 |
| 3.3 Порівняння основних показників обраної конструкції з аналогами .....                          | 18 |
| 3.4 Патентне дослідження .....                                                                    | 21 |
| 4 Охорона праці .....                                                                             | 25 |
| 4.1 Виробничий шум.....                                                                           | 25 |
| 4.2 Повітря робочої зони .....                                                                    | 26 |
| 4.3 Електробезпека .....                                                                          | 26 |
| 4.4 Пожежна безпека.....                                                                          | 27 |
| 5 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції.....                      | 28 |
| 5.1 Параметричний розрахунок теплообмінника.....                                                  | 28 |
| 5.2 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки під дією внутрішнього надлишкового тиску..... | 32 |
| 5.3 Розрахунок товщини стінки еліптичного днища під дією внутрішнього надлишкового тиску.....     | 34 |
| 5.4 Розрахунок штуцерів .....                                                                     | 36 |
| 5.5 Розрахунок укріплення отворів .....                                                           | 38 |
| 5.6 Розрахунок елементів апарата на міцність.....                                                 | 39 |
| 5.6.1 Розрахунок трубної решітки.....                                                             | 40 |

|          |         |          |        |      |                                                                                |                                      |  |      |        |  |  |
|----------|---------|----------|--------|------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--|------|--------|--|--|
|          |         |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ                                                             |                                      |  |      |        |  |  |
|          |         |          |        |      |                                                                                |                                      |  |      |        |  |  |
| Зм.      | Лист    | № докум. | Підпис | Дата |                                                                                |                                      |  |      |        |  |  |
| Разроб.  | Гурин   |          |        |      | Модернізація установки виробництва етанової кислоти з розробкою теплообмінника | Літ                                  |  | Лист | Листів |  |  |
| Перев.   | Гайдай  |          |        |      |                                                                                |                                      |  | 9    | 82     |  |  |
|          |         |          |        |      |                                                                                | КПІ ім. Ігоря Сікорського каф. МАХНВ |  |      |        |  |  |
| Н.Контр. | Новохат |          |        |      |                                                                                |                                      |  |      |        |  |  |
| Затв.    |         |          |        |      |                                                                                |                                      |  |      |        |  |  |

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.6.2 Розрахунок міцності кожуха.....                                    | 44 |
| 5.7 Розрахунок гідравлічних опорів .....                                 | 46 |
| 6 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації установки.....               | 49 |
| 7 Рівень стандартизації та уніфікації .....                              | 51 |
| 8 Техніко-економічне обґрунтування модернізації.....                     | 52 |
| Висновки .....                                                           | 56 |
| Conclusion.....                                                          | 57 |
| Перелік посилань.....                                                    | 58 |
| Додаток А Документація патентного дослідження .....                      | 60 |
| Додаток Б Патенти, які були використані .....                            | 66 |
| Додаток В Програма розрахунку товщини стінки циліндричної обичайки ..... | 71 |
| Додаток Г Публікації автора .....                                        | 73 |

## Перелік скорочень, умовних позначень та термінів

Умовні скорочення:

$G$  – продуктивність, кг/с;

$V$  – об'ємна витрата, м<sup>3</sup>/с;

$P$  – тиск, МПа;

$F$  – площа поверхні теплообміну, м;

$t$  – температура, К;

$r$  – термічний опір, м<sup>2</sup>К/Вт;

$c$  – питома теплоємність, Дж/(кг×К);

$Q$  – теплові витрати, Вт;

$K$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>×К);

$S$  – товщина, м;

$E$  – модуль пружності, МПа;

$N$  – потужність, Вт;

$\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі Вт/(м<sup>2</sup>×К);

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м×К);

$\mu$  – коефіцієнт динамічної в'язкості, Па×с;

$\rho$  – густина, кг/м<sup>3</sup>;

$\sigma$  – напруження в матеріалі, МПа;

$[\sigma]$  – допустиме напруження, МПа;

$\varphi$  – коефіцієнт міцності зварного шва;

$\omega$  – швидкість, м/с.

Критерії:

$Nu$  – Критерій Нусельта;

$Pr$  – критерій Прандтля;

$Re$  – критерій Рейнольдса.

## Вступ

Етанова кислота, також відома як оцтова кислота, є однією з найважливіших органічних сполук, яка використовується у хімічній, харчовій та фармацевтичній промисловостях. Її застосовують у виробництві барвників, пластмас, ліків, штучних волокон. Найпоширенішим синтетичним методом отримання етанової кислоти є процес окислення метану.

У даному дипломному проєкті розглядається технологічна схема виробництва етанової кислоти карбонілюванням метанолу. Одним з апаратів технологічної схеми є теплообмінник для підігріву метанолу. Процеси теплообміну мають велике значення в хімічній промисловості. Теплообмінні апарати становлять значну частку технологічного обладнання виробництв. Це пояснюється тим, що майже усі основні процеси хімічної технології пов'язані з необхідністю підведення чи відведення теплоти. Тому важливим питанням є підвищення ефективності використання сировинних та енергетичних ресурсів.

Метою роботи є модернізація кожухотрубного теплообмінника, який у даній технологічній схемі використовується для підігріву метанолу водяною парою. Метанол проходить по трубах, а пар конденсується в міжтрубному просторі.

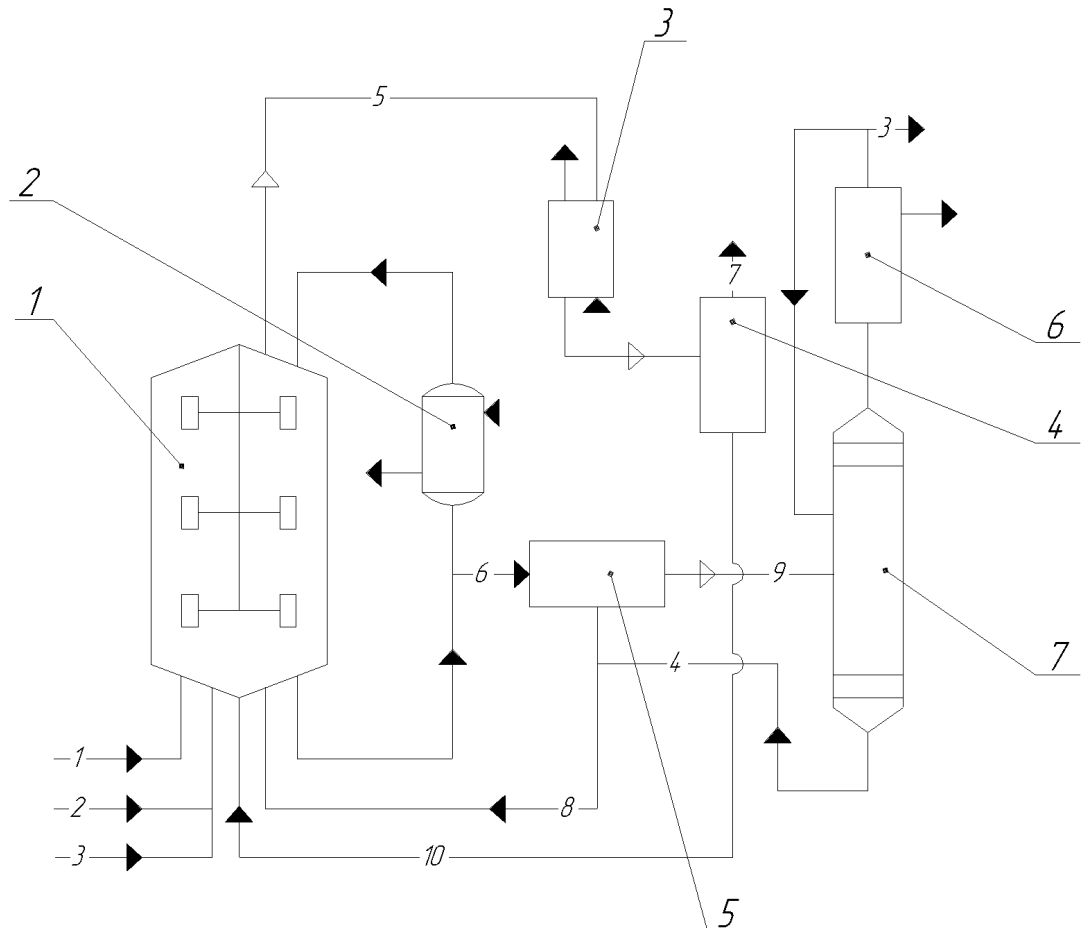
У роботі необхідно описати конструкцію кожухотрубного теплообмінника, його основні деталі та складальні одиниці. Необхідно обрати матеріали для виготовлення апарату, здійснити порівняння основних показників обраної конструкції з аналогами, здійснити патентні дослідження та навести заходи по охороні праці. Необхідно провести параметричний розрахунок кожухотрубного теплообмінника та виконати розрахунки його основних деталей на міцність та стійкість. Надати рекомендації щодо монтажу та експлуатації і визначити рівні стандартизації та уніфікації кожухотрубного теплообмінника. Виконати креслення технологічної схеми, складальне креслення теплообмінника, корпусу, кришки, трубної решітки.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 12   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

# 1 Призначення та область використання апарата

## 1.1 Опис технологічного процесу

Технологічну схему виробництва етанової кислоти зображено на рисунку 1.1



Потоки: 1 – оксид вуглецю; 2 – метанол; 3 – вода; 4 – кубовий залишок;  
5, 7, 9 – димові гази; 6, 8, 10 – рідка фаза.

1 – реактор; 2 – кожухотрубний теплообмінник; 3 – холодильник;  
3 – гідратор; 4, 5, 6 – сепаратор; 7 – ректифікаційна колона;

Рисунок 1.1 – Технологічна схема карбонілювання метанолу

У реактор синтезу барботажного типу 1, обладнаним пристроєм для перемішування, насосом зі збірки 1 подають метанол, який попередньо підігрівається водяною парою від 20 до 118°C. Оксид вуглецю надходить в реактор

через барботажне кільце, в результаті чого утворюється дисперсна фаза, що сприяє швидкому розчиненню газу в реакційній суміші.

Час перебування речовин у реакційній зоні (0,25-0,30 год) регулюється рівнем рідини в реакторі (75-80% від його місткості), а повноту процесу синтезу при тиску 2,8 МПа і температурі 185 °С – ретельним перемішуванням всіх потоків, що надходять в реактор, за допомогою мішалки.

Реакційна рідина (оцтова кислота і розчин каталізатора з промотором) з реактора 1 надходить в сепаратор 5, де за рахунок зниження тиску до 62 кПа відбувається часткове випаровування рідини і температура знижується до 116 °С. Тут же відбувається відділення пари від рідини. Рідина, що містить каталізатор, повертається з нижньої частини сепаратора 5 в реактор 1, а пари, що надходять з верхньої частини сепаратора, потрапляють в ректифікаційну колону легкої фракції 7. Ці пари містять оцтову кислоту, йодистий метил, йодистий водень, воду і невеликі кількості метанолу, метилацетат.

Метилйодид з парами води і оцтової кислоти відбирається з верхньої частини колони 7, конденсується в холодильнику-конденсаторі 3 і розділяється в сепараторі 6 на дві фази: важку і легку. Важка фаза, що містить в основному йодистий метил, повертається в реактор 1; частина легкої фази використовується як флегма для зрошення колони 7, а частина повертається в реактор синтезу.

Важка фаза, що складається з йодистого метилу та оцтової кислоти, виводиться з куба колони 1; цей потік самопливом стікає до сепаратора 5, і таким чином йодистий водень та родій повертаються в цикл.

Сира оцтова кислота відбирається з середньої частини колони 7 і направляється на стадію очищення.

Відпрацьовані гази, що містять пари йодистого метилу, оцтової кислоти і води, відводяться з верхньої частини реактора синтезу 1. Після охолодження в холодильнику-конденсаторі 3 газова фаза відокремлюється від рідкої в сепараторі 4, після чого рідина повертається в реактор синтезу, а газ направляється на очищення.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 14   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

## 1.2 Вибір типу апарата та його місце в технологічній схемі

Процес нагрівання робочого продукту може бути виконаний за допомогою різних типів конструкцій теплообмінників. В залежності від способу створення поверхні теплообміну теплообмінники поділяються на трубні, кожухотрубні, пластинчасті апарати, від напрямку руху теплоносіїв на прямоточні та протиточні.

Найважливішою вимогою для обраного апарату є відповідність технологічному процесу, а саме підтримання необхідної температури процесу, забезпечення робочої швидкості продукту, вибір оптимальних матеріалів апарату відповідно до робочого середовища та відповідність апарату тискам робочих середовищ.

Також важливою вимогою для апарату є його ефективність. Важливо забезпечити високу інтенсивність теплообміну. Це буде виконуватись при: розвиненому турбулентному режимі в трубному просторі; відсутності забруднень; сприятливий відносний рух робочих середовищ. Важливою вимогою також є компактність апарата, складність та вартість його виготовлення та обслуговування.

Відповідно до заявлених вимог до апарата найбільше їх задовольняє кожухотрубний теплообмінник. Він простий у виготовленні та монтажі, має невелику вартість виготовлення та відповідає вимогам технологічного процесу.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 15   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

## 2 Технічна характеристика теплообмінника

|                                             |        |
|---------------------------------------------|--------|
| Тиск у трубному просторі, МПа               | 0,64;  |
| Тиск у міжтрубному просторі, МПа            | 0,2;   |
| Початкова температура метилового спирту, °С | 20;    |
| Кінцева температура метилового спирту, °С   | 118;   |
| Діаметр апарата, м                          | 0,8;   |
| Загальна кількість трубок, шт.              | 392;   |
| Зовнішній діаметр труб, м                   | 0,025; |
| Внутрішній діаметр труб, м                  | 0,021; |
| Довжина труб апарата, м                     | 6;     |
| Товщина стінки апарата, м                   | 0,005; |
| Витрати метилового спирту, кг/с             | 4;     |
| Витрати пари, кг/с                          | 0,507. |

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 16   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |



### 3 Опис та обґрунтування обраної конструкції апарата

#### 3.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей апарата

Конструктивна схема кожухотрубного теплообмінника наведена на рисунку 3.1.

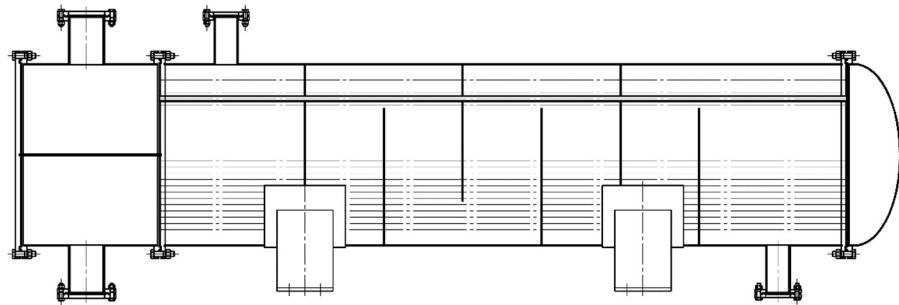


Рисунок 3.1 – Кожухотрубний теплообмінник

Теплообмінний апарат призначений для нагрівання метилового спирту парою, що конденсується.

Апарат складається з таких основних складальних одиниць, трубчатка, яка складається з двох трубних решіток між якими встановлено трубний пучок та кожух. Для відводу та відводу робочого середовища в кожусі встановлено вхідний та вихідний патрубки. В міжтрубному просторі встановлено сегментні поперечні перегородки. Вхід та вихід середовища трубного простору забезпечується розподільчою камерою, яка складається з обичайки, фланців та стінок. Апарат закріплюється в робочому положенні опорами.

Основними вимогами при конструюванні теплообмінного апарата є: забезпечення найбільш можливого коефіцієнта теплопередачі, найменший гідравлічний опір, компактність апарата та економічне використання матеріалів, надійність та герметичність з'єднань при можливих робочих тисках та температурах, простота встановлення та обслуговування апарата, уніфікація основних вузлів та деталей апарата, технологічність виготовлення основних елементів апарата.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 17   |

### 3.2 Вибір матеріалів

Основними конструкційними матеріалами для зварної хімічної апаратури найрізноматнішніх класів, типів та призначення є вуглецеві низьколеговані сталі. Ці сталі набули свого розповсюдження завдяки ряду переваг, а саме, міцність, такі сталі мають високу міцність, що робить їх відповідними для роботи під навантаженням, добра зварюваність, ця характеристика дозволяє легко використовувати низьколеговані сталі в зварних конструкціях, доступність та розповсюдженість, ці сталі більш дешеві в порівнянні з високолегованими.

Тому для виготовлення основних складальних одиниць апарата обираємо вуглецеву низьколеговану сталь 16ГС ГОСТ 5520-79, яка відповідає вимогам на міцність для роботи під надлишковим тиском. Завдяки додаванням до сталі хрому та молібдену вона є корозійно стійкою для роботи в робочому середовищі при робочих умовах. Оскільки складальні одиниці кожухотрубного теплообмінника є зварними конструкціями важлива добра зварюваність сталі. Інші деталі виготовити зі сталі 20 ГОСТ 1050-88.

### 3.3 Порівняння основних показників обраної конструкції з аналогами

Існує багато різноманітних конструкцій апаратів для теплообміну. Велика кількість цих апаратів це кожухотрубні теплообмінники. Існує декілька основних різновидів кожухотрубних теплообмінників.

На рисунку 3.2. зображено кожухотрубний теплообмінник з компенсатором на кожусі. Основні складальні одиниці даного апарата не відрізняються від кожухотрубного теплообмінника, окрім кожуха, він має компенсатор. Він встановлений для компенсування температурних розширень, які виникають через зміну температур. Таке теплове розширення може виникати через велику різницю між температурою в апараті та навколишнім середовищем.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 18   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

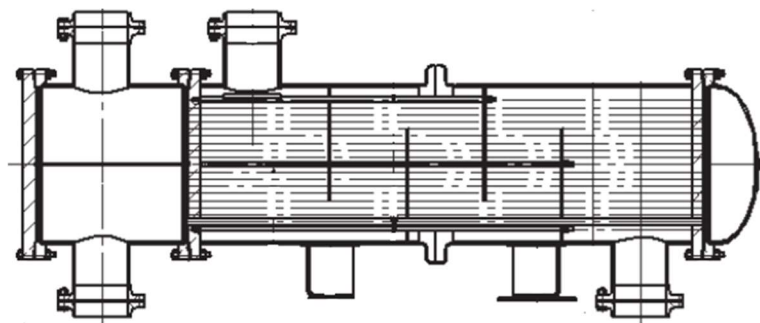


Рисунок 3.2 – Кожухотрубний теплообмінник з компенсатором

На рисунку 3.3 зображено кожухотрубний теплообмінник з плаваючою ГОЛОВКОЮ.

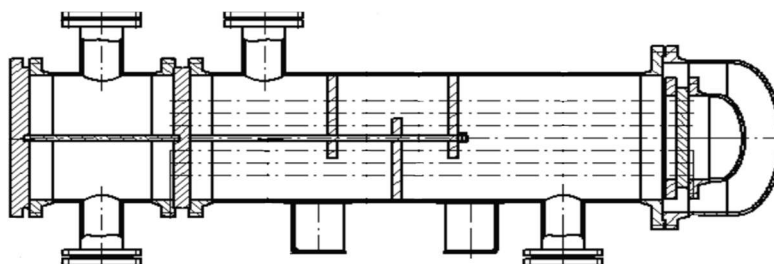


Рисунок 3.3 – Кожухотрубний теплообмінник з плаваючою головкою

Для компенсування температурних розширень, які виникають всередині апарата застосовують плаваючу головку. Вона розташована на кінці трубного пучка і може вільно переміщуватись вздовж трубного пучка, що дозволяє компенсувати теплове розширення під час роботи.

На рисунку 3.4 зображено кожухотрубний теплообмінник з *U*-подібними трубками.

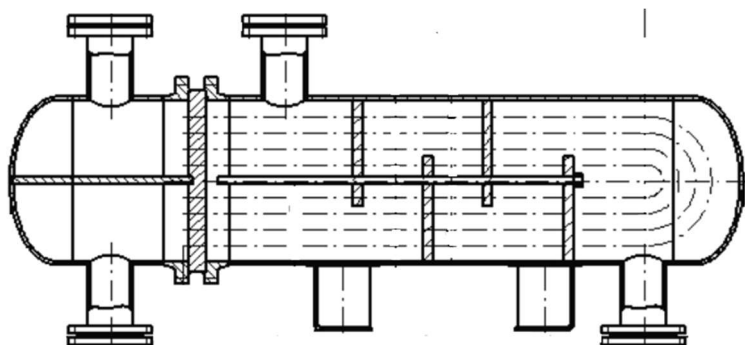


Рисунок 3.4 – Кожухотрубний теплообмінник з *U*-подібними трубками

Особливістю даного теплообмінного апарата є трубний пучок, який має *U*-подібну форму. Використання такої форми труб допомагає компенсувати теплове

розширення, яке виникає в апараті. Також такий тип пучка полегшує обслуговування апарата, оскільки можна повністю дістати трубний пучок з кожуха апарата.

Порівняльна характеристика теплообмінників наведена в таблиці 3.1.

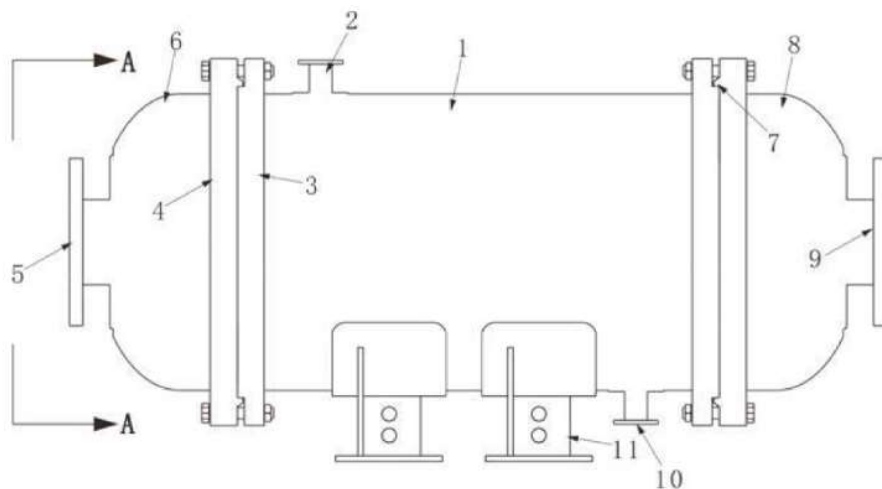
Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика абсорберів

| Основні технологічні показники    | Апарат з компенсатором | Апарата з плаваючою головковою | Апарат з U-подібними трубками | Апарат зі спіральними вставками | Апарат, що проектується |
|-----------------------------------|------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| Гідравлічний опір, Па             | 6700 (3)               | 7000 (2)                       | 6600 (4)                      | 8200 (1)                        | 6540 (5)                |
| Діаметр апарата, м                | 1,1 (1)                | 1 (2)                          | 0,8 (3)                       | 0,7 (4)                         | 0,8 (3)                 |
| Площа теплообміну, м <sup>2</sup> | 150 (2)                | 130 (1)                        | 150 (2)                       | 180 (4)                         | 155 (3)                 |
| Довжина апарата                   | 6,5 (3)                | 7 (2)                          | 6 (4)                         | 8 (1)                           | 6 (4)                   |
| Сума балів                        | 9                      | 7                              | 13                            | 10                              | 15                      |

Висновок: виходячи з результатів отриманих при порівнянні різних типів теплообмінників визначено, що для даних умов найкраще буде використати многоходовий кожухотрубний теплообмінник з нерухомою трубною решіткою, оскільки він має найменші показники гідравлічного опору та необхідну поверхню теплообміну. Також дана конструкція є простою у виготовленні, що зменшує вартість апарата.

### 3.4 Патентне дослідження

Одноходовий кожухотрубний теплообмінник зображено на рисунку 3.5 [1].



1 – кожух; 2 – вхід в міжтрубний простір; 3,4 – фланець, 5 – вхід в трубний простір; 6 – кришка; 7 – болтове з'єднання; 8 – кришка; 9 – вихід з трубного простору; 10 – вихід з трубного простору; 11 – опора.

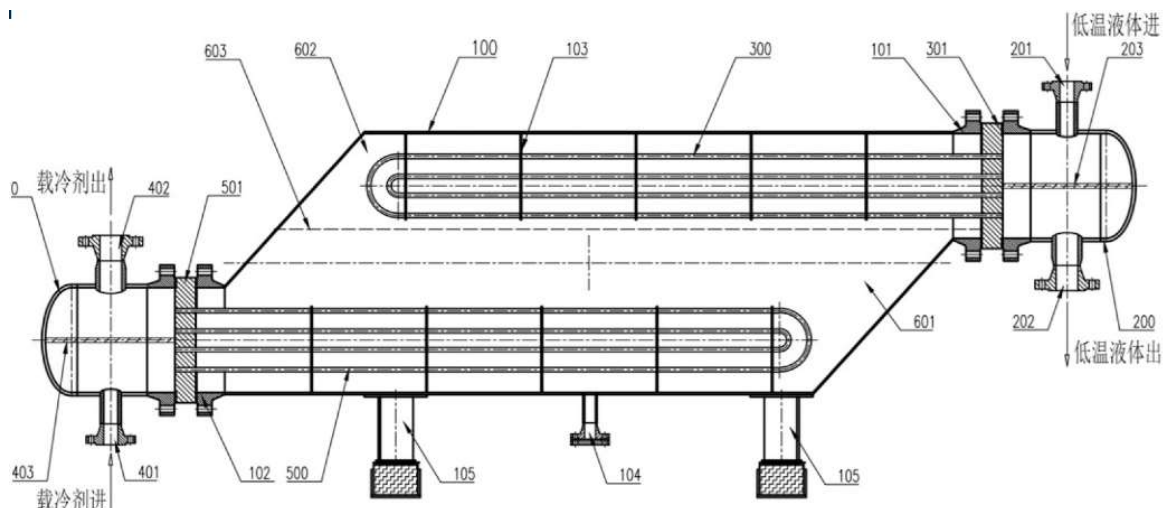
Рисунок 3.5 – Одноходовий кожухотрубний теплообмінник [1]

Даний апарат призначено для охолодження відпрацьованих газів. Гарячі гази входять через штуцер 5 та потрапляють до розподільчої кришки 6. Охолоджуються в трубах та виходять через фланець 9. Охолоджуючий агент рухається в міжтрубному просторі. Апарат закріплено в робочому положенні опорами 11.

На рисунку 3.6 зображено холодозабірний теплообмінник [2].

Через вхідний отвір 401 гарячий агент потрапляє до лівого трубного пучка 400. Кожух 100 заповнений проміжним холодоагентом 601.

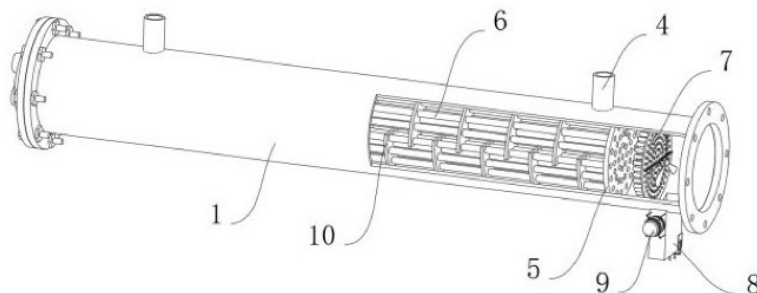
У рідину проміжного холодоагенту 601 занурено трубний пучок 400. Холодоагент випаровується та переходить до правого трубного пучка 300 де холодоагент конденсується та передає тепло холодній рідині. Перевагою даного апарата є висока ефективність теплопередачі завдяки проміжному холодоагенту, простота конструкції в порівнянні з іншими типами.



100 – кожух; 200 – права головка; 300 – трубний пучок; 400 – ліва головка;  
 401 – вхідний отвір гарячого агента; 402 – вихідний отвір гарячого агента;  
 500 – трубний пучок; 601 – проміжний холодоагент

Рисунок 3.6 – Холодозабірний теплообмінник [2]

На рисунку 3.7 зображено теплообмінник з фільтром [3].



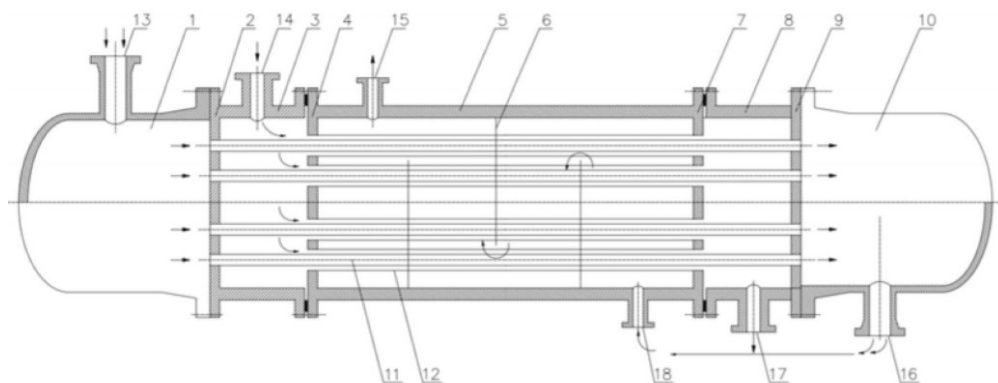
1 – кожух; 4 – вхід в міжтрубний простір; 5 – трубна дошка; 6 – труби;  
 7 – фільтр; 8 – пристрій зберігання; 9 – блокуючий пристрій; 10 – перетинки.

Рисунок 3.7 – Теплообмінник з фільтром [3]

Даний апарат складається з двох фланців між якими закріплені трубки 6. У міжтрубному просторі встановлені перетинки 10. Особливістю апарата є фільтр 7, який встановлено для очищення рідини трубного простору від забруднень, які могли б осідати на трубках та зменшувати коефіцієнт теплопровідності. Забруднення очищені фільтром 7 потрапляють до камери зберігання 8. Блокуючий пристрій 9 не дає забруднення вийти з камери зберігання 8. Перевагою даного апарата є можливість використання з забрудненими рідинами.

Композитний кожухотрубний теплообмінник зображено на рисунку 3.8 [4].

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 22   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

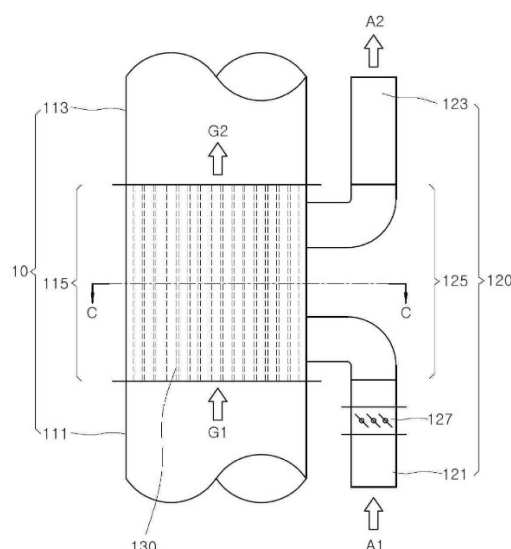


1 – кожух передньої кришки; 2 – перша трубна плита; 3 – кожух; 4 – друга трубна плита; 5 – основний кожух; 6 – перетинка; 7 – друга задня плита; 8 – задня трубна плита; 9 – перша задня трубна дошка; 10 – задній кожух; 11 – внутрішня труба; 12 – зовнішня труба; 13 – вхід; 14 – вхід; 15 – вихід; 16 – вихід; 17 – вихід; 18 – вихід.

### 3.8 – Композитний кожухотрубний теплообмінник [4]

Даний апарат призначено для роботи при високому тиску 22,1 МПа та температури 375 °С. Він має перший трубний простір з входом 13 та виходом 16. Другий трубний простір з входом 14 та виходом 17 та міжтрубний простір з входом 18 та виходом 15. Особливістю апарата є використання матеріалів для роботи в середовищі з високим тиском та температурою.

Теплообмінник для охолодження газу зображено на рисунку 3.9 [5].



110 – вихлопна труба; 115 – труби; 120 – теплообмінний пристрій; 121 – вхід повітря; 123 – вихід повітря;

Рисунок 3.9 – Теплообмінник для охолодження газу [5]

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 23   |

Апарат призначено для охолодження відпрацьованих газів повітрям. Відпрацьовані гази проходять через вихлопну трубу 110, проходять через трубки 115.

Через вхідний отвір 121 до міжтрубного простору подається повітря. Нагріте повітря відводиться через вихідний отвір 123. Перевагою даного апарату є простота конструкції та малий гідравлічний опір.

#### Висновок:

За результатами патентного пошуку встановлено, що для забезпечення найбільшої ефективності процесу теплообміну найкращим апаратом є многоходовий кожухотрубний теплообмінник. Застосування даного типу апарата забезпечує оптимальну поверхню теплообміну, порівняно низький гідравлічний опір. Також дана конструкція є проста у виготовленні, що забезпечує порівняно невелику металоємність та дешевизну апарата.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 24   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |



## 4 Охорона праці

Надання безпечних та комфортних умов праці є одним з найважливіших завдань на сьогоднішній день. Важливо забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівника у галузі охорони праці. Безпечне ведення технологічного процесу знижує можливість травм на виробництві та підвищує працездатність персоналу.

У дипломному проекті розглядається установка виробництва етанової кислоти, установку обслуговує оператор, що знаходиться в операторній.

У технологічній схемі виробництва використовується етанол, та димові гази, які можуть бути отруйними для персоналу.

На обслуговуючий персонал впливають такі фактори як: можливість ураження електричним струмом, шум, вміст шкідливих домішок у повітрі, які можуть привести до вибуху або отруєння.

Основні фактори:

- Виробничий шум;
- Повітря робочої зони;
- Електробезпека;
- Пожежна безпека.

### 4.1 Виробничий шум

Основною вимогою для захисту від шуму відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 є еквівалентний рівень шуму повинен бути не більше ніж 80 дБА за робочу зміну та дотримання допустимих рівнів звукового тиску у октавних смугах частот.

Належний рівень захисту від шуму можна забезпечити завдяки шумоізоляції операторної. Також можна встановити захисні кожухи на апарати та віброізоляцію.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 25   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

## 4.2 Повітря робочої зони

При тривалій взаємодії етану з організмом людини можливе отруєння та термічні опіки шкіри. При тривалій дії на шкіру може викликати захворювання шкіри.

Вентиляційна система має забезпечити очищення повітря та доведення його якості до встановлених норм. Також система повинна забезпечувати постійний контроль якості повітря та повідомляти персонал в разі аварії. Необхідно проводити аеродинамічні випробування вентиляційної системи не рідше одного разу на рік, а також після кожного капітального ремонту та реконструкції згідно з ГОСТ 12.3.018-79.

Також з вимог до параметрів мікроклімату згідно з ДСН 3.3.6.042-99 для категорії робіт середньої важкості Па, при яких витрата енергії становить 151-200 ккал/год температура повітря в холодний період року становить 19-21 °С, відносна вологість 60-40%, швидкість руху повітря 0,2 м/с, а в теплий період року температура становить 21-23 °С, вологість 60-40%, швидкість 0,3 м/с.

Для регулювання параметрів повітря використовувати вентиляційну систему в теплий період року та радіатори в холодний. Якщо вентиляційна система не забезпечує нормальних умов і чистоти повітря у приміщеннях, то застосовують систему кондиціонування повітря.

## 4.3 Електробезпека

Приміщення операторної відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою, тому що можливий одночасний контакт людини з апаратами та металевим корпусом устаткування.

Для роботи установка виробництва етанової кислоти використовує трьохфазну напругу 220В та частотою 50 Гц.

Основні причини ураження електричним струмом:

- випадковий контакт зі лінією під напругою;
- поява напруги на конструктивних металевих частинах апаратах;

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 26   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

– порушення правил використання електрообладнання.

Щоб уникнути нещасних випадків згідно з ГОСТ 12.1030-82 застосовуємо захисне занулення із глухо-заземленою нейтраллю. Щоб уникнути ураження від статичної електрики, тому що приміщення категорійне, робимо сітку з металевих пластин перетином  $25 \times 4$  мм, що розташовується по периметру приміщення, і до якої приєднують мідним дротом  $S = 10 \text{ мм}^2$  металеві частини апаратів й устаткування, які перебувають у цьому приміщенні.

Для запобігання контакту з кабелями вони вкладені в труби й захищені під підлогу, рубильники захищені в спеціальні шафи та при роботі з електроінструментом використовується індивідуальний захист.

#### 4.4 Пожежна безпека

В технологічній схемі виробництва етанової кислоти використовується етанол та етанова кислота, пари яких легко загораються на повітрі. В теплообміннику етанол нагрівається до температури кипіння при атмосферному тиску. Тому є можливість виникнення вибуху або пожежі. При вибуху реакція відбувається надзвичайно швидко в замкнутому просторі.

Відповідно до категорії приміщень за ДБН В.1.1-7:2016 приймаємо II степінь вогнестійкості приміщення. Відповідно до категорій приміщень за НАПБ Б.0.3.002-2007 приймаємо категорію В (пожежонебезпечна) приміщення.

План евакуації зображено на рисунку 4.1.

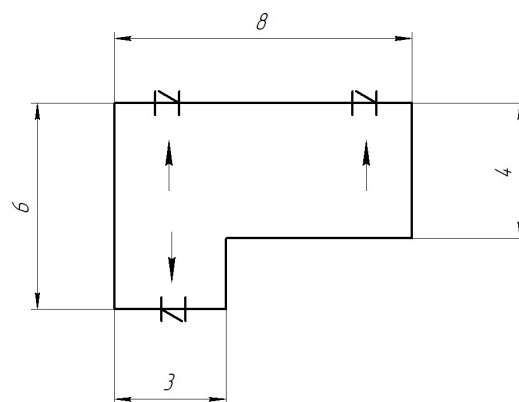


Рисунок 4.1 – План евакуації

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 27   |

## 5 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції

### 5.1 Параметричний розрахунок теплообмінника

Метою розрахунку є визначення необхідної поверхні теплообміну, конструктивних розмірів апарату та вибір конструкції апарату, яка задовольняє заданим технічним умовам.

Розрахункова схема параметричного розрахунку наведена на рисунку 5.1

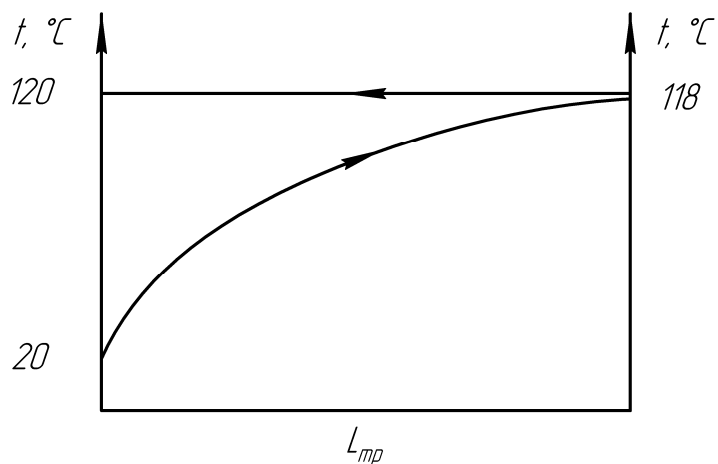


Рисунок 5.1 – Розрахункова схема до параметричного розрахунку

Вихідні дані:

|                                                       |      |
|-------------------------------------------------------|------|
| витрати метилового спирту $G_1$ , кг/с                | 4;   |
| початкова температура метилового спирту $t_{1п}$ , °C | 20;  |
| кінцева температура метилового спирту $t_{1к}$ , °C   | 118; |
| температура пари $t_{2к}$ , °C                        | 120. |

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [6]

Визначаємо більшу та меншу різницю температур при умові, що теплоносії рухаються протитоком.

Більша різниця температур:

$$\Delta t_6 = t_{2к} - t_{1п} = 120 - 20 = 100 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Менша різниця температур:

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 28   |

$$\Delta t_m = t_{2к} - t_{1к} = 120 - 118 = 2 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Так як  $\Delta t_6 / \Delta t_m = 100 / 2 = 50 > 2$ , то середня різниця температур:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln(\frac{\Delta t_6}{\Delta t_m})} = \frac{100 - 2}{\ln(\frac{100}{2})} = 25,05 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Середня температура метилового спирту:

$$\Delta t_{1cp} = \frac{t_{1п} + t_{1к}}{2} = \frac{20 + 118}{2} = 69 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Теплофізичні властивості метилового спирту:

|                                                    |                         |
|----------------------------------------------------|-------------------------|
| питома густина $\rho_1$ , кг/м <sup>3</sup>        | 745,1;                  |
| коефіцієнт динамічної в'язкості $\mu_1$ , Па·с     | $3,309 \cdot 10^{-3}$ ; |
| питома теплоємність $c_1$ , Дж/(кг·К)              | $2,861 \cdot 10^3$ ;    |
| коефіцієнт теплопровідності $\lambda_1$ , Вт/(м·К) | 0,187;                  |

Теплофізичні властивості водяної пари:

|                                       |                      |
|---------------------------------------|----------------------|
| Теплота пароутворення $r_{п}$ , Дж/кг | $2,202 \cdot 10^6$ ; |
|---------------------------------------|----------------------|

Теплофізичні властивості води:

|                                                    |                         |
|----------------------------------------------------|-------------------------|
| Питома густина $\rho_2$ , кг/м <sup>3</sup>        | 942,9;                  |
| Коефіцієнт динамічної в'язкості $\mu_2$ , Па·с     | $237,4 \cdot 10^{-6}$ ; |
| питома теплоємність $c_2$ , Дж/(кг·К)              | 4250;                   |
| коефіцієнт теплопровідності $\lambda_2$ , Вт/(м·К) | 0,686;                  |
| коефіцієнт Прандтля $Pr_2$                         | 1,54.                   |

Теплове навантаження апарата:

$$Q = G_1 \cdot c_1 \cdot (t_{1к} - t_{1п}) = 4 \cdot 2861 \cdot (118 - 20) = 1,122 \cdot 10^6 \text{ Вт}.$$

Витрати конденсуючої пари:

$$G_2 = \frac{Q}{r_{п}} = \frac{1,122 \cdot 10^6}{2,202 \cdot 10^6} = 0,509 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Прийmemo такі умови роботи теплообмінника:

- орієнтовне число Рейнольдса для метилового спирту в трубах

$Re_{op} = 15000$ , що відповідає розвинутому турбулентному режиму руху рідини;

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 29   |

- орієнтовне значення коефіцієнта теплопередачі  $K_{op} = 340 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , що відповідає теплопередачі від конденсуючого пару до органічної рідини;
- внутрішній діаметр труб апарата  $d_{BH} = 0,021 \text{ м}$ .

Об'ємні витрати метилового спирту:

$$V_1 = \frac{G_1}{\rho_1} = \frac{4}{745,1} = 5,368 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Орієнтовна динамічна в'язкість метилового спирту:

$$\omega_{1op} = \frac{Re_{op} \cdot \mu_1}{d_{BH} \cdot \rho_1} = \frac{15000 \cdot 3,309 \cdot 10^{-3}}{0,021 \cdot 745,1} = 0,317 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Орієнтовна площа перерізу потоку для трубного простору:

$$S_{1op} = \frac{V_1}{\omega_{1op}} = \frac{5,368 \cdot 10^{-3}}{0,317} = 0,017 \text{ м}^2.$$

Орієнтовна необхідна площа поверхні теплообміну:

$$F_{op} = \frac{Q}{K_{op} \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{1,122 \cdot 10^6}{340 \cdot 25,05} = 131,6 \text{ м}^2.$$

Орієнтовне число труб:

$$n_{op} = \frac{4 \cdot S_{1op}}{\pi \cdot d_{BH}^2} = \frac{4 \cdot 0,017}{3,14 \cdot 0,021^2} = 48,86.$$

Виходячи з отриманих орієнтовних значень площі поверхні теплообміну та числа труб обираємо шестиходовий теплообмінник з загальною кількістю труб 392, кількість труб на один хід 65, внутрішнім діаметром 0,8 м, довжиною труб 6 м, та загальною прощеною поверхні  $185 \text{ м}^2$ .

Площа перерізу потоку для трубного простору:

$$S_1 = \frac{\pi \cdot d_{BH}^2}{4} \cdot \frac{n}{z} = \frac{\pi \cdot 0,021^2}{4} \cdot \frac{392}{6} = 0,023 \text{ м}^2.$$

Динамічна в'язкість метилового спирту:

$$\omega_1 = \frac{V_1}{S_1} = \frac{5,368 \cdot 10^{-3}}{0,023} = 0,237 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Число Рейнольдса для метилового спирту:

$$Re_1 = \frac{\omega_1 \cdot d_{BH} \cdot \rho_1}{\mu_1} = \frac{0,237 \cdot 0,021 \cdot 745,1}{3,309 \cdot 10^{-3}} = 1,122 \cdot 10^4.$$

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 30   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Критерій Прантля:

$$Pr_1 = \frac{c_1 \cdot \mu_1}{\lambda_1} = \frac{2,861 \cdot 10^3 \cdot 3,309 \cdot 10^{-3}}{0,187} = 5,054.$$

Оберемо орієнтовну поправку Міхеєва 1,05

$$\frac{Pr_1}{Pr_{1ct}} = 1,05.$$

Критерій Нусельта:

$$\begin{aligned} Nu_1 &= 0,021 \cdot Re_1^{0,8} \cdot Pr_1^{0,43} \cdot \frac{Pr_1^{0,25}}{Pr_{1ct}} = \\ &= 0,021 \cdot 1,122^{0,8} \cdot 5,054^{0,43} \cdot 1,05^{0,25} = 44,48. \end{aligned}$$

Коефіцієнти тепловіддачі:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_{BH}} = \frac{44,48 \cdot 0,187}{0,021} = 396,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}. \\ \alpha_2 &= 1,28 \frac{A_t}{(\Delta t_{cp} \cdot d_{30B})^{0,25}} = 1,28 \frac{7240}{(25,05 \cdot 0,025)^{0,25}} = 1,042 \cdot 10^4. \end{aligned}$$

Сума термічних опорів стінки та забруднень:

$$\sum \frac{\delta}{\lambda} = \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} = \frac{0,02}{17,5} + \frac{1}{5560} + \frac{1}{5800} = 4,74 \cdot \frac{10^{-4} (\text{м}^2 \cdot \text{К})}{\text{Вт}}.$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{396,7} + 4,74 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{1,042 \cdot 10^4}} = 323,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Температура поверхні стінки:

$$t_{ct} = \Delta t_{1cp} + \frac{K \cdot \Delta t_{cp}}{\alpha_1} = 69 + \frac{323,5 \cdot 25,05}{396,7} = 89,43 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Теплофізичні властивості метилового спирту при температурі стінки:

|                                                        |                       |
|--------------------------------------------------------|-----------------------|
| коефіцієнт динамічної в'язкості $\mu_{1ct}$ , Па·с     | $2,777 \cdot 10^{-3}$ |
| питома теплоємність $c_{1ct}$ , Дж/(кг·К)              | $3,045 \cdot 10^3$    |
| коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{1ct}$ , Вт/(м·К) | 0,182                 |

Критерій Прантля при температурі стінки:

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 31   |

$$Pr_{1ст} = \frac{c_{1ст} \cdot \mu_{1ст}}{\lambda_{1ст}} = \frac{2,777 \cdot 10^3 \cdot 3,045 \cdot 10^{-3}}{0,182} = 4,642.$$

Поправка Міхеєва:

$$\frac{Pr_1}{Pr_{1ст}} = \frac{5,054}{4,642} = 1,089.$$

Зміна поправки Міхеєва:

$$\Delta_1 = \frac{1,089 - 1,05}{1,089} \cdot 100 = 3,5 \, \%.$$

Необхідна площа поверхні теплообміну:

$$F_1 = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{ср}} = \frac{1,122 \cdot 10^6}{323,5 \cdot 25,05} = 138,4 \, \text{м}^2.$$

Площа поверхні теплообміну заданого теплообмінника:

$$F_2 = L \cdot \pi \cdot n \cdot d_{вн} = 6 \cdot 3,14 \cdot 392 \cdot 0,021 = 155,2 \, \text{м}^2.$$

Запас поверхні теплообміну:

$$\Delta_2 = \frac{155,2 - 138,4}{155,2} \cdot 100 = 10,9 \, \%.$$

Висновок:

За результатами розрахунку було визначено необхідну площу теплообміну, яка складає 138,4 м<sup>2</sup>, обрано шестиходовий кожухотрубний теплообмінник з загальною кількістю труб 392, внутрішнім діаметром 0,8 м, довжиною труб 6 м, та загальною площею поверхні 155,2 м<sup>2</sup>. Також визначено запас поверхні теплообміну, який складає 10,9 %.

## 5.2 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки під дією внутрішнього надлишкового тиску

Метою розрахунку є визначення товщини стінки циліндричної обичайки та перевірка міцності під дією внутрішнього надлишкового тиску.

Розрахункова схема для визначення товщини стінки циліндричної обичайки наведена на рисунку 5.2

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 32   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |



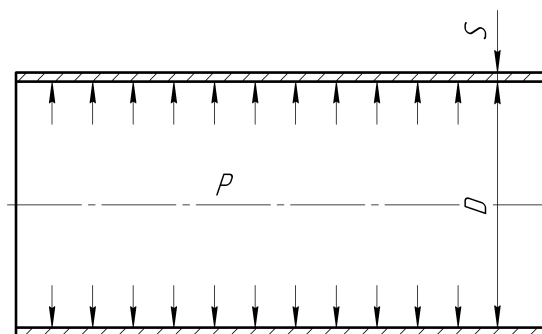


Рисунок 5.2 – Розрахункова схема для визначення товщини стінки циліндричної обичайки

Вихідні дані:

|                                            |       |
|--------------------------------------------|-------|
| внутрішній діаметр обичайки $D$ , м        | 0,8;  |
| коефіцієнт міцності зварного шва $\varphi$ | 1;    |
| матеріал обичайки                          | 16ГС; |
| розрахункова температура $t$ , °C          | 120;  |
| розрахунковий тиск $P$ , МПа               | 0,64. |

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [7]

Допустиме напруження матеріалу обичайки за розрахункової температури:

$$[\sigma] = 163 \text{ МПа.}$$

Розрахункова товщина стінки циліндричної обичайки:

$$S_R = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \varphi - P_p} = \frac{0,64 \cdot 0,8}{2 \cdot 163 \cdot 1 - 0,64} = 0,001574 \text{ м.}$$

Додаток до розрахункової товщини для компенсації ерозії:

$$C_e = 0 \text{ м.}$$

Додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії та ерозії:

$$C_1 = 0,001 + C_e = 0,001 + 0 = 0,001 \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки у першому наближенні:

$$S_1 = S_R + C_1 + C_0 = 0,001574 + 0,001 + 0,000426 = 0,003 \text{ м,}$$

де  $C_0 = 0,000426 \text{ м}$  – додаток до найближчої товщини прокату.

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску:

$$C_2 = 0,00016 \text{ м.}$$

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 33   |

Технологічний додаток до розрахункової товщини:

$$C_3 = 0 \text{ м.}$$

Оскільки відношення суми додатків до товщини:

$$\frac{C_2 + C_3}{S_1} = \frac{0,00016 + 0}{0,003} = 0,053 \geq 0,05,$$

то сума додатків до розрахункової товщини:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0,001 + 0,00016 + 0 = 0,00116 \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки:

$$S = S_R + C + C_0 = 0,01574 + 0,00116 + 0,002266 = 0,005 \text{ м,}$$

де  $C_0 = 0,02266 \text{ м}$  – додаток до найбоижчої товщини прокату.

Перевірка умов застосування розрахункових формул:

$$\frac{S - C}{D} = \frac{0,005 - 0,00116}{0,8} = 0,04 \leq 0,1.$$

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[P] = \frac{2[\sigma]\varphi(S - C)}{D + (S - C)} = \frac{2 \cdot 163 \cdot 1 \cdot (0,005 - 0,00116)}{0,8 + (0,004 - 0,00116)} = 1,541 \text{ МПа.}$$

Перевірка умови міцності:

$$[P] = 1,541 \text{ МПа} > P = 0,64 \text{ МПа.}$$

Умова міцності виконується.

Програма для розрахунку наведена в додатку В.

Висновок:

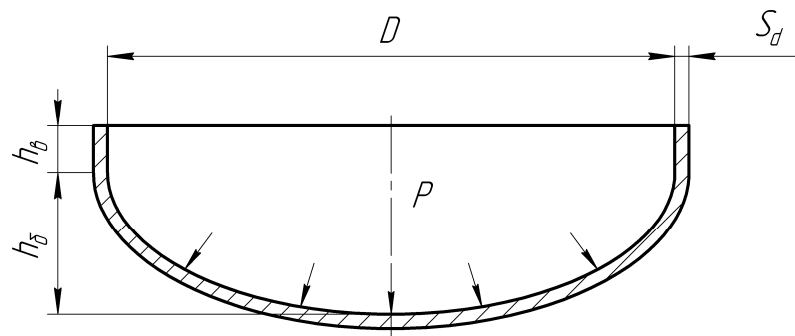
Визначена товщина стінки циліндричної обичайки  $S = 0,005 \text{ м}$ , яка забезпечує міцність апарата під дією внутрішнього тиску.

### 5.3 Розрахунок товщини стінки еліптичного днища під дією внутрішнього надлишкового тиску

Метою розрахунку є визначення товщини стінки стандартного еліптичного днища та перевірка міцності під дією внутрішнього надлишкового тиску.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 34   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Розрахункова схема для визначення товщини стінки стандартного еліптичного днища наведена на рисунку 5.3.



Розрахунок 5.3 – Розрахункова схема для визначення товщини стінки еліптичного днища

Вихідні дані:

|                                            |       |
|--------------------------------------------|-------|
| внутрішній діаметр обичайки $D$ , м        | 0,8;  |
| коефіцієнт міцності зварного шва $\varphi$ | 1;    |
| матеріал обичайки                          | 16ГС; |
| розрахункова температура $t$ , °C          | 120;  |
| розрахунковий тиск $P$ , МПа               | 0,64. |

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [7]

Визначимо допустиме напруження матеріалу для робочої температури:

$$[\sigma] = 164 \text{ МПа.}$$

Розрахункова товщина еліптичної кришки, навантаженої внутрішнім надлишковим тиском:

$$S_R = \frac{P \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \varphi - 0,5 \cdot P} = \frac{0,64 \cdot 0,8}{2 \cdot 176 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,64} = 0,001572 \text{ м.}$$

Додаток до розрахункової товщини для компенсації ерозії:

$$C_e = 0 \text{ м.}$$

Додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії та ерозії:

$$C_1 = 0,002 + C_e = 0,002 + 0 = 0,002 \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки у першому наближенні:

$$S_1 = S_R + C_1 + C_0 = 0,001572 + 0,002 + 0,000428 = 0,004 \text{ м,}$$

де  $C_0 = 0,000428 \text{ м}$  – додаток до найбоижчої товщини прокату.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 35   |

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску:

$$C_2 = 0,00016 \text{ м.}$$

Технологічний додаток до розрахункової товщини:

$$C_3 = 0 \text{ м.}$$

Оскільки відношення суми додатків до товщини:

$$\frac{C_2 + C_3}{S_1} = \frac{0,00016 + 0}{0,004} = 0,053 \geq 0,05,$$

то сума додатків до розрахункової товщини:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0,001 + 0,00016 + 0 = 0,00116 \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки:

$$S = S_R + C + C_0 = 0,01572 + 0,00116 + 0,001228 = 0,005 \text{ м,}$$

де  $C_0 = 0,001228 \text{ м}$  – додаток до найближчої товщини прокату.

Прийmemo довжину циліндричної відбортваної частини кришки за товщиною стінки та діаметром кришки за ГОСТ 6533-78:  $h_1=40 \text{ мм}$ .

Перевіряємо умови застосування формул:

$$0,2 \leq \frac{h_b}{D} = \frac{0,2}{0,8} = 0,25 \leq 0,5.$$

Визначаємо допустимий внутрішній тиск:

$$[P] = \frac{2[\sigma]\varphi(S - C)}{R + (S - C)} = \frac{2 \cdot 163 \cdot 1 \cdot (0,005 - 0,00116)}{0,8 + (0,005 - 0,00116)} = 1,14 \text{ МПа.}$$

Допустимий внутрішній тиск перевищує робочий, а отже умова міцності виконується.

Висновок:

Визначена товщина стінки еліптичного днища, яка становить 5 мм. Перевірено умови застосування формул та визначено допустимий внутрішній тиск.

#### 5.4 Розрахунок штуцерів

Метою розрахунку є вибір штуцерів.

Розрахункова схема для вибору штуцерів наведена на рисунку 5.4.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 36   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

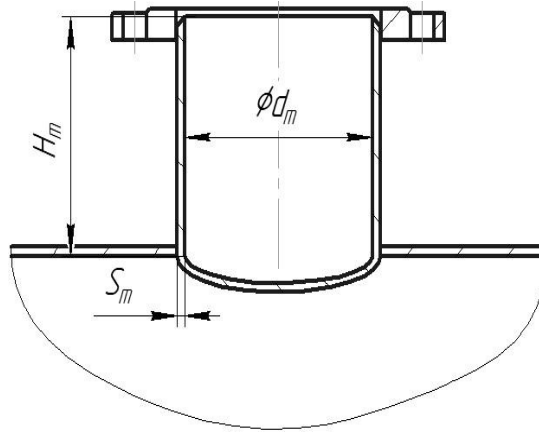


Рисунок 5.4 – Розрахункова схема до вибору штуцерів

Вихідні дані:

|                                                        |       |
|--------------------------------------------------------|-------|
| витрати метилового спирту $G_1$ , кг/с                 | 4     |
| витрати пари $G_2$ , кг/с                              | 0,514 |
| густина метилового спирту $\rho_1$ , кг/м <sup>3</sup> | 744   |
| густина пари $\rho_{\text{п}}$ , кг/м <sup>3</sup>     | 1,121 |
| густина води $\rho_2$ , кг/м <sup>3</sup>              | 943,1 |
| швидкість рідини в трубопроводі $w_1$ , м/с            | 1     |
| швидкість пари в трубопроводі $w_{\text{п}}$ , м/с     | 25    |

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [8]

Діаметр штуцера для підводу та відводу метилового спирту:

$$d_{\text{ш1}} = \sqrt{\frac{G_1}{0,785 \cdot w_1 \cdot \rho_1}} = \sqrt{\frac{4}{0,785 \cdot 1 \cdot 744}} = 0,083 \text{ м.}$$

Приймаємо штуцер з внутрішнім діаметром 0,08 м.

Діаметр штуцера для підводу пари:

$$d_{\text{шп}} = \sqrt{\frac{G_2}{0,785 \cdot w_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{п}}}} = \sqrt{\frac{0,514}{0,785 \cdot 25 \cdot 1,121}} = 0,153 \text{ м.}$$

Приймаємо штуцер з внутрішнім діаметром 0,15 м.

Діаметр штуцера для відводу сконденсованої води:

$$d_{\text{ш2}} = \sqrt{\frac{G_2}{0,785 \cdot w_1 \cdot \rho_2}} = \sqrt{\frac{0,514}{0,785 \cdot 1 \cdot 943,1}} = 0,026 \text{ м.}$$

Приймаємо штуцер з внутрішнім діаметром 0,025 м.

Висновок:

За розрахунками визначили внутрішні діаметри штуцерів для підводу та відводу метилового спирту, підводу пари, відводу води, які відповідно становлять 80 мм, 150 мм, 25 мм.

### 5.5 Розрахунок укріплення отворів

Метою розрахунку є визначити максимальний діаметр отвору, який не потребує укріплення.

Розрахункова схема для укріплення отворів наведена на рисунку 5.4.

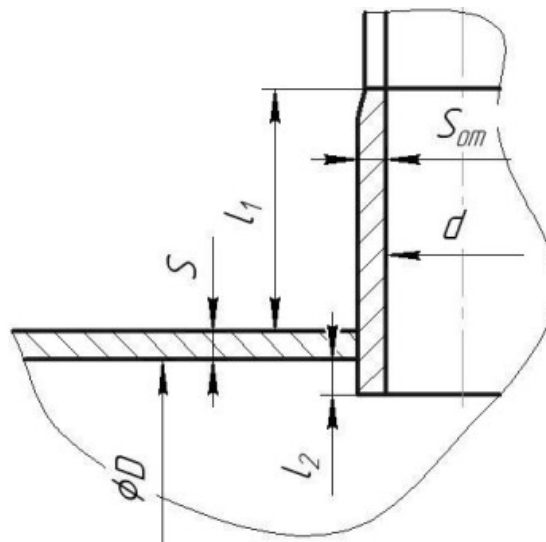


Рисунок 5.4 – Розрахункова схема укріплення отворів

Вихідні дані:

|                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------|-----------|
| внутрішній діаметр обичайки $D$ , м                         | 0,8;      |
| товщина стінки циліндричної обичайки $S$ , м                | 0,005;    |
| розрахункова товщина стінки циліндричної обичайки $S_R$ , м | 0,001574; |
| діаметр штуцера для підводу пари $d_{шп}$ , м               | 0,15;     |
| допустиме напруження $\sigma$ , МПа                         | 164;      |
| сума додатків до розрахункової товщини $C$ , м              | 0,00116;  |

розрахунковий тиск  $P$ , МПа 0,64;

максимальний допустимий діаметр отвору  $d_{\max}$ , м 0,8.

Розрахунок виконано за методикою наведеною в [9].

Найбільший допустимий діаметр отвору, який не потребує укріплення:

$$d_0 = \min \left\{ 2 \left( \frac{S - C}{S_R} - 0,8 \right) \sqrt{D(S - C)}, d_{\max} + 2C \right\} =$$
$$= \min \left\{ 2 \left( \frac{0,005 - 0,00116}{0,001574} - 0,8 \right) \sqrt{0,8(0,005 - 0,001574)}, 0,8 + 2 \cdot 0,001574 \right\} =$$
$$= 0,183 \text{ м.}$$

Висновок:

За результатами розрахунку маємо найбільший діаметр отвору не потребуючий укріплення, який становить 183 мм, оскільки найбільший діаметр штуцера становить 150 мм, то отвори укріплювати не треба.

## 5.6 Розрахунок елементів апарата на міцність

Метою розрахунку є перевірка елементів апарата на міцність.

Вихідні дані:

розрахунковий тиск у міжтрубному просторі  $p_m$ , МПа 0,2;  
розрахунковий тиск у трубному просторі  $p_t$ , МПа 0,64;  
внутрішній діаметр обичайки  $D$ , м 0,8;  
товщина стінки  $S$ , м 0,005;  
матеріал апарата 16ГС;  
розрахункова температура  $t_K$ , °C 120;  
кількість труб 392;  
товщина стінки труби  $S_T$ , м 0,002;  
зовнішній діаметр труб  $d_T$ , м 0,025;  
крок між трубами  $t$ , м 0,032;  
внутрішній радіус кожуха  $a$ , м 0,4;  
радіус центра ваги тарілки фланця  $R$ , м 0,445;

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 39   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

|                                                |        |
|------------------------------------------------|--------|
| ширина тарілки фланця $b$ , м                  | 0,09;  |
| товщина тарілки фланця $h$ , м                 | 0,031; |
| сума додатків до розрахункової товщини $C$ , м | 0,002. |

Розрахунок виконано за методикою наведеною в [10].

### 5.6.1 Розрахунок трубної решітки

Метою розрахунку є перевірка на міцність трубної решітки.

Схема розміщення труб в трубній решітці наведена на рисунку 5.5.

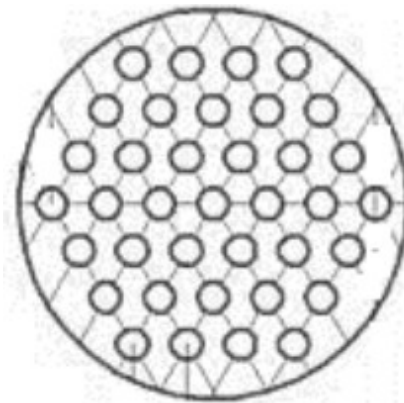


Рисунок 5.5 – Схема розміщення труб в трубній решітці

Визначимо допустиме напруження матеріалу:

$$[\sigma] = 164 \text{ МПа.}$$

Модуль повздовжньої пружності матеріалу:

$$E = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт лінійного розширення матеріалу:

$$\alpha = 12,6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}.$$

Розрахунковий тиск:

$$p_p = \max(p_m, p_t) = \max(0,2, 0,64) = 0,64 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт ослаблення решітки отворами:

$$\varphi_0 = \frac{D - \sum d_0}{D} = \frac{0,8 - 0,625}{0,8} = 0,219.$$

Початкова товщина трубної решітки:

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 40   |



$$S_p = 0,5 \cdot D \sqrt{\frac{p_p}{[\sigma] \cdot \varphi_0}} = 0,5 \cdot 0,8 \sqrt{\frac{0,64}{163 \cdot 0,219}} = 0,053 \text{ м.}$$

Коефіцієнт впливу тиску на трубну решітку з боку міжтрубного простору:

$$\eta_M = 1 - \frac{i \cdot d_T^2}{4 \cdot a^2} = 1 - \frac{392 \cdot 0,025^2}{4 \cdot 0,356^2} = 0,517.$$

Коефіцієнт впливу тиску на трубну решітку з боку трубного простору:

$$\eta_T = 1 - \frac{i \cdot (d_T - 2 \cdot S_T)^2}{4 \cdot a^2} = 1 - \frac{392 \cdot (0,025 \cdot 2 \cdot 0,002)^2}{4 \cdot 0,356^2} = 0,659.$$

Модуль пружності основи:

$$K_y = \frac{E \cdot (\eta_T - \eta_M)}{l} = 1 - \frac{1,99 \cdot 10^5 \cdot (0,659 - 0,517)^2}{3} = 9438 \frac{\text{МН}}{\text{м}^3}.$$

Коефіцієнт зміни жорсткості системи труби – кожух при дії тиску:

$$K_p = 0.$$

Коефіцієнт зміни жорсткості системи труби – кожух при дії осьової сили:

$$K_q = K_p + 1 = 1.$$

Коефіцієнт впливу тиску на повздовжню деформацію труб:

$$m_{cp} = 0,15 \frac{i \cdot (d_T - S_T)^2}{4 \cdot a^2} = 1 - \frac{392 \cdot (0,025 \cdot 0,002)^2}{4 \cdot 0,356^2} = 0,245.$$

Відносна характеристика безтрубного краю трубної решітки:

$$m_{\pi} = \frac{a}{a_1} = \frac{0,4}{0,356} = 1,124.$$

Зведене відношення жорсткості труб до жорсткості кожуха:

$$\rho = \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l}{E \cdot S} = \frac{9438 \cdot 0,356 \cdot 3}{1,99 \cdot 10^5 \cdot 0,005} = 10,13.$$

Зведений тиск на решітку:

$$p_0 = \left[ \begin{array}{l} \alpha(t_K - t_0) - \alpha(t_T - t_0)K_y \cdot l + \\ + [\eta_T - 1 + m_{cp} + m_{\pi}(m_{\pi} + 0,5 \cdot \rho \cdot K_q)]p_T - \\ - [\eta_M - 1 + m_{cp} + m_{\pi}(m_{\pi} + 0,3 \cdot \rho \cdot K_q)]p_M \end{array} \right] =$$

$$= \left[ \begin{array}{l} 12,6 \cdot 10^{-6}(120 - 20) - 12,6 \cdot 10^{-6}(120 - 20)9438 \cdot 3 + \\ + [0,659 - 1 + 0,245 + 1,124(1,124 + 0,5 \cdot 10,13 \cdot 1)]0,64 - \\ - [0,517 - 1 + 0,245 + 1,124(1,124 + 0,3 \cdot 10,13 \cdot 1)]0,2 \end{array} \right] = 3,5 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 41   |

Коефіцієнт жорсткості перфорованої плити:

$$\psi_0 = 0,37.$$

Коефіцієнт системи решітка – труби:

$$\beta = \frac{1,82}{S_p} \left( \frac{K_y \cdot S_p}{\psi_0 \cdot E} \right)^{0,25} = \frac{1,82}{0,053} \left( \frac{9438 \cdot 0,053}{0,37 \cdot 1,99 \cdot 10^5} \right)^{0,25} = 9,8 \frac{1}{\text{м}}.$$

Коефіцієнт системи кожух – решітка:

$$\beta_1 = \frac{1,3}{\sqrt{a \cdot S}} = \frac{1,3}{\sqrt{0,4 \cdot 0,005}} = 29,069 \frac{1}{\text{м}}.$$

Коефіцієнт системи обичайка – фланець:

$$\beta_2 = \frac{1,3}{\sqrt{a \cdot S}} = \frac{1,3}{\sqrt{0,4 \cdot 0,005}} = 29,069 \frac{1}{\text{м}}.$$

Коефіцієнти:

$$K_2 = K_1 = \frac{\beta_1 \cdot a \cdot E \cdot S^3}{5,5 \cdot R} = \\ = \frac{29,069 \cdot 0,4 \cdot 1,99 \cdot 10^5 \cdot 0,005^3}{5,5 \cdot 0,445} = 0,118 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Коефіцієнти жорсткості фланцевого з'єднання при вигині:

$$K_\phi = 2 \frac{E \cdot h^3 \cdot b}{12 \cdot R^2} = 2 \frac{1,99 \cdot 10^5 \cdot 0,031^3 \cdot 0,09}{12 \cdot 0,445^2} = 0,792 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Коефіцієнт впливу тиску на вигин фланця:

$$m = \frac{1 + \beta_1 \cdot h}{2 \cdot \beta_1^2} = \frac{1 + 29,069 \cdot 0,031}{2 \cdot 29,069^2} = 0,001125 \text{ м}^2.$$

Зведений тиск на фланці:

$$p_1 = \frac{K_y}{\beta \cdot K_\phi} (m \cdot p_m - m \cdot p_T) = \\ = \frac{9438}{9,8 \cdot 0,792} (0,001125 \cdot 0,2 - 0,001125 \cdot 0,64) = -0,6 \text{ МПа}.$$

Зведене відношення жорсткості труб до жорсткості фланцевого з'єднання:

$$\rho_1 = \frac{K_y \cdot a \cdot a_1}{\beta^2 \cdot K_\phi \cdot R} = \frac{9438 \cdot 0,4 \cdot 0,356}{9,8^2 \cdot 0,792 \cdot 0,445} = 39,713.$$

Безрозмірний параметр системи решітка – труба;

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 42   |

$$\omega = \beta \cdot a_1 = 9,8 \cdot 0,356 = 3,489.$$

Коефіцієнти, що враховують підтримуючий вплив труби:

$$\Phi_1 = 9,08,$$

$$\Phi_2 = 6,15,$$

$$\Phi_3 = 5,4.$$

Безрозмірний параметр:

$$t = 1 + 1,4\omega(m_{\pi} - 1) = 1 + 1,4 \cdot 3,489(1,124 - 1) = 1,604.$$

Коефіцієнти:

$$\begin{aligned} T_1 &= \Phi_1[m_{\pi} + 0,5(1 + m_{\pi} \cdot t)(t - 1)] = \\ &= 9,08[1,124 + 0,5(1 + 1,124 \cdot 1,604)(1,604 - 1)] = 17,881, \end{aligned}$$

$$T_2 = \Phi_2 \cdot t = 6,15 \cdot 1,604 = 9,863,$$

$$T_3 = \Phi_3 \cdot m_{\pi} = 5,4 \cdot 1,124 = 9,899.$$

Розподілена по краю трубної решітки сила, що перерізує:

$$\begin{aligned} Q_{\Pi} &= a_1 \frac{p_0(T_3 + \rho_1) - p_1 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q)(T_3 + \rho_1) - T_2^2} = \\ &= 0,356 \frac{3,5(9,899 + 39,713) - (-0,6) \cdot 9,863}{(17,881 + 10,13 \cdot 1)(9,899 + 39,713) - 9,863^2} = 0,05 \frac{\text{МН}}{\text{м}}. \end{aligned}$$

Розподілена поп периметру перфорованої зони решітки сила, що перерізує:

$$Q_a = m_{\pi} \cdot Q_{\Pi} = 1,124 \cdot 0,05 = 0,056 \frac{\text{МН}}{\text{м}}.$$

Дотичні напруження в трубній решітці в місці з'єднання з кожухом:

$$\tau_{p1} = \frac{Q_{\Pi}}{S_p - C} = \frac{0,05}{0,053 - 0,002} = 0,96 \text{ МПа}.$$

Коефіцієнт ослаблення решітки:

$$\varphi_p = 1 - \frac{d_T}{t_p} = 1 - \frac{0,025}{0,032} = 0,219.$$

Дотичні напруження в перфорованій частині решітки:

$$\tau_{p2} = \frac{Q_a}{\varphi_p(S_p - C)} = \frac{0,056}{0,219(0,053 - 0,002)} = 4,94 \text{ МПа}.$$

Перевірка статичної міцності трубної решітки:

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 43   |

$$\max(\tau_{p1}; \tau_{p2}) \leq 0,8[\sigma],$$

$$\max(0,96; 4,94) = 4,94 < 0,8 \cdot 164,$$

Висновок:

За результатами розрахунку умова статичної міцності трубної решітки виконується.

### 5.6.2 Розрахунок міцності кожуха

Метою розрахунку є перевірка кожуха на міцність.

Розрахункова схема до розрахунку наведена на рисунку 5.6.

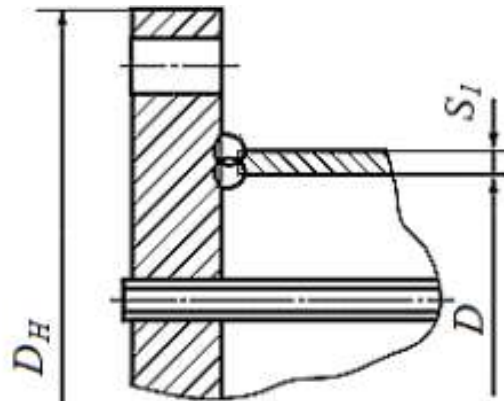


Рисунок 5.6 – Розрахункова схема до розрахунку кожуха

Розподілене зусилля по периметру кожуха:

$$Q_K = \frac{a}{2} p_T - Q_{II} = \frac{0,4}{2} 0,64 - 0,05 = 0,078 \frac{\text{МН}}{\text{м}}.$$

Мембранне напруження в кожусі у місці приєднання до решітки в меридіальному напрямку:

$$\sigma_{MX} = \frac{Q_K}{S - c} = \frac{0,078}{0,005 - 0,002} = 0,26 \text{ МПа}.$$

Умова статичної міцності кожуха в місці приєднання до решітки:

$$\sigma_{MX} = 0,26 < [\sigma] = 164.$$

Висновок:

За результатами розрахунку встановлено, що умова статичної міцності в місці з'єднання кожуха з решіткою виконується.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 44   |

### 5.6.3 Розрахунок труб на міцність, стійкість та жорсткість

Метою розрахунку є перевірка труб на міцність стійкість та жорсткість.

Розрахункова схема до розрахунку труб наведена на рисунку 5.6.

Згинальний момент, розподілений по периметру трубної решітки:

$$M_{\Pi} = \frac{a_1}{\beta} \frac{p_1(T_1 + \rho \cdot K_q) - p_0 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q)(T_3 + \rho_1) - T_2^2} =$$
$$= \frac{0,356}{9,8} \frac{-0,6(9,899 + 10,13 \cdot 1) - 3,5 \cdot 9,863}{(17,881 + 10,13 \cdot 1)(9,899 + 39,713) - 9,863^2} = -0,001 \text{ МН.}$$

Згинальний момент, розподіленої по периметру перфорованої частини трубної решітки:

$$M_a = M_{\Pi} + (a - a_1)Q_{\Pi} = -0,001 + (0,4 - 0,356)0,005 = 732 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}}.$$

Осьова сила, яка діє на трубу:

$$N_T = \frac{\pi \cdot a_1}{i} [(\eta_M \cdot p_M - \eta_T \cdot p_T)a_1 + \Phi_1 \cdot Q_a + \Phi_2 \cdot \beta \cdot M_a] =$$
$$= \frac{3,14 \cdot 0,356}{392} [(0,517 \cdot 0,2 - 0,659 \cdot 0,64)0,356 + 9,08 \cdot 0,056 + 6,15 \cdot 9,8 \cdot 732] =$$
$$= 0,0012 \text{ МН.}$$

Мембранне напруження в трубах в осьовому напрямку:

$$\sigma_{1T} = \frac{|N_T|}{\pi(d_T - S_T)S_T} = \frac{|0,0012|}{3,14(0,025 - 0,002)0,002} = 8,6 \text{ МПа.}$$

Мембранне напруження в трубах в окружному напрямку:

$$\sigma_{2T} = \frac{(d_T - S_T)\max\{|p_T|; |p_M|; |p_T - p_M|\}}{2S_T} =$$
$$= \frac{(0,025 - 0,002)\max\{|0,64|; |0,2|; |0,64 - 0,2|\}}{2 \cdot 0,002} = 3,68 \text{ МПа.}$$

Умова статичної міцності труб:

$$\max(\sigma_{1T}; \sigma_{2T}) \leq [\sigma],$$
$$\max(8,6; 3,68) = 8,6 < 164,$$

Висновок:

За результатами розрахунку умова статичної міцності труб виконується.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 45   |

## 5.7 Розрахунок гідравлічних опорів

Метою розрахунку є визначення гідравлічного опору в трубному та міжтрубному просторах.

Розрахункова схема до визначення гідравлічних опорів наведена на рисунку 5.7.

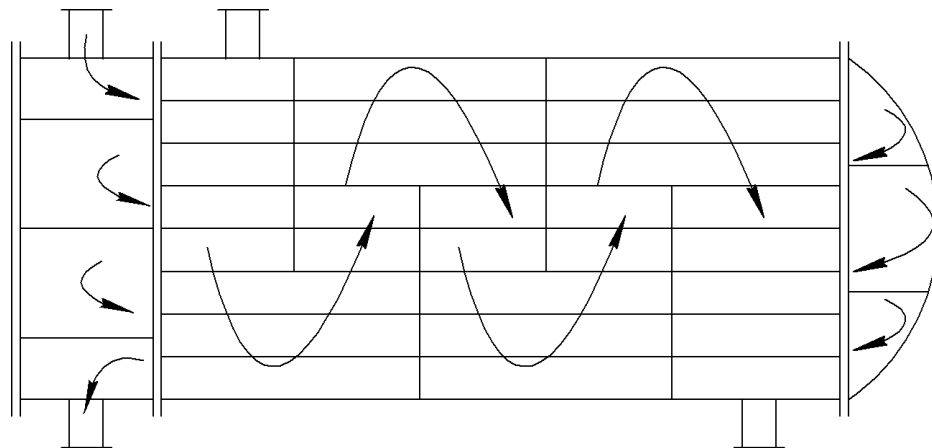


Рисунок 5.7 – Схема до визначення гідравлічного опору

Вихідні дані

|                                                        |                         |
|--------------------------------------------------------|-------------------------|
| витрати метилового спирту $G_1$ , кг/с                 | 4;                      |
| витрати пари $G_2$ , кг/с                              | 0,509;                  |
| густина метилового спирту $\rho_1$ , кг/м <sup>3</sup> | 744;                    |
| густина води $\rho_2$ , кг/м <sup>3</sup>              | 942,9;                  |
| динамічна в'язкість метилового спирту $\mu_1$ , Па·с   | $3,309 \cdot 10^{-3}$ ; |
| динамічна в'язкість води $\mu_2$ , Па·с                | $237,4 \cdot 10^{-6}$ ; |

Швидкість метилового спирту в трубах:

$$\omega_{\text{тр}} = \frac{G_1}{S_{\text{тр}} \cdot \rho_1} = \frac{4}{0,023 \cdot 744} = 0,234 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Коефіцієнт тертя:

$$\begin{aligned} \lambda &= 0,25 \left\{ \log \left( \frac{e}{3,7 \cdot d_{\text{вн}}} + \left( \frac{6,81}{\text{Re}_1} \right)^2 \right) \right\}^{-2} = \\ &= 0,25 \left\{ \log \left( \frac{0,002}{3,7 \cdot 0,021} + \left( \frac{6,81}{11220} \right)^2 \right) \right\}^{-2} = 0,126. \end{aligned}$$

Швидкість в штуцерах подачі та віддачі метилового спирту:

$$\omega_{\text{трш}} = \frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot d_{\text{шт}}^2 \cdot \rho_1} = \frac{4 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,08^2 \cdot 744} = 1,07 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Коефіцієнти місцевих опорів потоку, який рухається по трубному просторі:

$\xi_{\text{тр1}} = 1,5$  – вхідна і вихідна камери,

$\xi_{\text{тр2}} = 2,5$  – поворот між ходами,

$\xi_{\text{тр3}} = 1$  – вхід в труби і вихід з труб.

Коефіцієнти місцевих опорів потоку, який рухається в міжтрубному просторі:

$\xi_{\text{мтр1}} = 1,5$  – вхід і вихід пари,

$\xi_{\text{мтр2}} = 1,5$  – поворот через сementну перегородку,

$\xi_{\text{мтр3}} = 0,7$  – опір пучка труб.

Гідравлічний опір в трубному просторі:

$$\begin{aligned} \Delta p_{\text{тр}} &= \lambda \frac{L \cdot z}{d_{\text{вн}}} \frac{\omega_{\text{тр}}^2 \cdot \rho_1}{2} + [2,5(z-1) + 2 \cdot z] \frac{\rho_{\text{тр}} \cdot \omega_{\text{тр}}^2}{2} + 3 \frac{\rho_{\text{тр}} \cdot \omega_{\text{трш}}^2}{2} = \\ &= 0,126 \frac{6 \cdot 6}{0,021} \frac{0,234^2 \cdot 744}{2} + [2,5(6-1) + 2 \cdot 6] \frac{604,6 \cdot 0,234^2}{2} + \\ &\quad + 3 \frac{904,6 \cdot 1,07^2}{2} = 6537 \text{ Па.} \end{aligned}$$

Швидкість потоку в штуцерах кожуха:

$$\omega_{\text{мтрш}} = \frac{4 \cdot G_2}{\pi \cdot d_{\text{шт}}^2 \cdot \rho_2} = \frac{4 \cdot 0,504}{3,14 \cdot 0,15^2 \cdot 1,121} = 0,03 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Швидкість газу в найбільш вузькому перетині міжтрубного простору:

$$\omega_{\text{мтр}} = \frac{G_2}{S_{\text{мтр}} \cdot \rho_2} = \frac{0,504}{0,012 \cdot 1,121} = 0,044 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Гідравлічний опір в міжтрубному просторі:

$$\begin{aligned} \Delta p_{\text{мтр}} &= \frac{3 \cdot m(x+1)}{\text{Re}_{\text{мтр}}^{0,2}} \frac{\rho_{\text{мтр}} \cdot \omega_{\text{мтр}}^2}{2} + 1,5 \cdot x \frac{\rho_{\text{мтр}} \cdot \omega_{\text{мтр}}^2}{2} + 3 \frac{\rho_{\text{мтр}} \cdot \omega_{\text{мтрш}}^2}{2} = \\ &= \frac{3 \cdot 12(14+1)}{3740} \frac{55 \cdot 0,044^2}{2} + 1,5 \cdot 14 \frac{55 \cdot 0,044^2}{2} + 3 \frac{55 \cdot 0,03^2}{2} = 31 \text{ Па.} \end{aligned}$$

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 47   |

Висновок:

За результатами розрахунку встановлено гідравлічний опір у трубному просторі, який становить 6537 Па, та гідравлічний опір в міжтрубному просторі, який становить 31 Па.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 48   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |



## 6 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації установки

Розділ виконаний за рекомендаціями, які наведено в [11].

Горизонтальні пристрої, зокрема ті, які мають велику довжину і невеликий діаметр, зазвичай монтуються на фундаменті за допомогою вантажопідіймальних кранів або щоглами. Кількість кранів визначається масою та жорсткістю пристрою, а саме його здатністю до поперечного згину під власною вагою. Для підйому обладнання використовують монтажні вушка або штуцери, або ж канатні петлі, якщо такі відсутні, використовуються спеціальні пристрої, наприклад, траверси.

При монтажі необхідно дотримуватися такої умови, щоб точки підйому не збігалися з поверхнями пристрою. Якщо немає підйомного обладнання, циліндричні горизонтальні пристрої іноді можуть бути встановлені шляхом накочування на фундамент, а пристрої з перетином будь-якої форми можуть бути встановлені на фундаменті похилою поверхнею (пандусом) на дерев'яних або металевих санях.

Монтаж обладнання у хімічних та нафтопереробних виробництвах, які розташовані у багатоповерхових або багатоярусних будівлях з залізобетонних або металевих конструкцій, є особливо складним процесом. Під час проектування таких будівель бажано передбачати монтажні отвори, які розташовані на всіх поверхах будівлі. Обладнання подається до монтажного отвору, піднімається за допомогою крана або талі, а потім, використовуючи лебідку, перевозиться на потрібний поверх для монтажу (у разі наявності мостового крана на цьому поверсі, його також можна використати). Цей метод вимагає послідовного монтажу і демонтажу, тобто спочатку монтується обладнання, яке знаходиться найбільш далеко від отвору, а потім демонтується обладнання, яке знаходиться найближче до нього. Особлива складність цього методу виявляється під час ремонтних робіт: якщо потрібно замінити певний пристрій, то для цього доводиться демонтувати всі об'єкти, які знаходяться між ним і монтажним отвором. Також можна подавати обладнання на високі поверхи через вікна, двері або спеціальні бокові отвори. Для підняття використовується розкочувальна гільза з двома поліспастами. Обладнання

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 49   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

стропують таким чином, щоб забезпечити рівновагу у піднятому стані, при цьому задній строп розташовується якомога далі від центру.

При монтажі окремих компонентів апарата необхідно приділити увагу розташуванню фланцевих з'єднань та відхиленням їх від проектних. Особливості монтажу апаратів полягають у тому, щоб під час монтажу всі роз'ємні з'єднання були вирівняні. Важливо забезпечити вирівнювання з'єднань трубопроводів, які використовуються для підключення теплообмінного обладнання.

Після монтажу апарата необхідно провести випробування. Спочатку треба перевірити цілісність та справність всіх частин апарата. Особливу увагу треба придати присутності в арматури в конструкції, кришок, фланців, болтів, заглушок, прокладок, які забезпечують герметичність системи. Під час гідравлічних випробувань необхідно перевірити справність та герметичність кранів, вентилів, клапанів та іншої арматури за робочого тиску, який вказаний в кресленні.

Результати випробувань вносяться в акт випробувань на конкретний апарат, де вказані всі недоліки та несправності.

Апарат вважається введеним в експлуатацію після підписання акту з боку представників монтажної організації.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 50   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

## 7 Рівень стандартизації та уніфікації

Стандартизація є процесом встановлення і дотримання набору правил і вимог для організації та регулювання діяльності у конкретній галузі або області. Основною метою стандартизації є ефективне використання наявних ресурсів, виконання технічних та безпекових норм, поліпшення якості та зниження вартості продукції і послуг.

Уніфікація, з свого боку, є процесом, який спрямований на приведення засобів виробництва, продукції або їх складових елементів до спільної структури, форми і розмірів. Рівень стандартизації і уніфікації визначається за допомогою коефіцієнта застосовності, який встановлюється згідно з державними стандартами. Цей рівень передбачає зменшення різноманітності у конструкції деталей, елементів та компонентів, а також у сортаменті матеріалів і формах документації. Такий підхід спрощує обслуговування, ремонт та заміну елементів апаратури і суттєво знижує витрати на її виробництво.

Рівень стандартизації становить:

$$K_c = \frac{n_c}{N} \cdot 100\% = \frac{40}{45} \cdot 100\% = 89\% ,$$

де  $N = 45$  – загальна кількість деталей;  $n_c = 40$  – кількість стандартних деталей.

Рівень уніфікації становить:

$$K_y = \frac{n_c + n_y}{N} \cdot 100\% = \frac{40 + 4}{45} \cdot 100\% = 97\% ,$$

де  $n_y = 4$  – кількість уніфікованих деталей.

Висновок: за отриманими результатами робимо висновок, що рівень стандартизації становить 89%, а рівень уніфікації 97%, що є високим рівнем. Це суттєво спрощує виробництво та обслуговування апарата.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 51   |

## 8 Техніко-економічне обґрунтування модернізації

Метою розрахунку є порівняння техніко-економічних показників модернізованого апарату з аналогом та визначення економічної доцільності модернізації.

Вихідні дані:

маса апарат, кг 4762;  
основний матеріал з якого виготовлений апарат 16ГС.

Метою даного розрахунку є техніко-економічне обґрунтування модернізації.  
Розрахунки проведені за [12].

Приблизна вартість модернізованого апарата:

$$\Phi_{\text{поч}}^{\text{нов}} = m_a C_m K_1 K_2 K_3 = 4762 \cdot 150 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,2 = 1542888 \text{ грн}$$

де  $C_m = 150$  грн/кг – ціна за кілограм матеріалу;

$K_1 = 1,5$  – коефіцієнт який враховує витрати на виготовлення основних деталей та вузлів [13];

$K_2 = 1,2$  – коефіцієнт який враховує витрати на технологічні операції при виготовленні апарата [13];

$K_3 = 1,2$  – коефіцієнт який враховує додаткові витрати при виготовленні апарата [13].

Галузі хімічного машинобудування може сприяти збільшення конкурентоспроможності та підвищення якості продукції шляхом удосконалення та модернізації обладнання. Проте цей процес вимагає значних інвестицій, які в даний момент є недостатніми в державі. Отже, детальне техніко-економічне обґрунтування стає особливо важливим для подальшого аналізу.

У рамках даного дипломного проекту необхідно провести оцінку техніко-економічного обґрунтування модернізації протитечійного теплообмінника шляхом порівняння його з аналогічними апаратами, що вже виробляються на виробництві. Для порівняння був обраний базовий зразок теплообмінника, який виступає стандартом для оцінки техніко-економічних показників.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 52   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Основні техніко-економічні показники базового теплообмінника та удосконаленого варіанта наведені у таблиці 8.1, яка дозволяє провести детальний аналіз. Для обґрунтування техніко-економічної доцільності модифікації, необхідно також врахувати коефіцієнт ефективності витрат, який може бути визначений згідно з таблицею 8.2. Цей коефіцієнт дозволить зробити висновок про доцільність проведення удосконалення апарата та його переваги порівняно з базовим варіантом.

Формула для знаходження коефіцієнту ефективності витрат:

$$n_{pi} = 1 - \frac{M_i + S_{ei}}{\Phi_{\text{поч}}^{\text{мод}} \alpha \beta + S_{ai}}$$

де  $M_i$  грн – сумарні витрати на вдосконалення;

$S_{ei}$  грн – перевищення витрат на вдосконалення під час експлуатації;

$\Phi_{\text{поч}}^{\text{нов}}$  – початкова вартість нового обладнання.

$\alpha$  – коефіцієнт співвідношення між обладнанням;

$\beta$  – коефіцієнт співвідношення між обладнанням під час ремонтного циклу;

$S_{ai}$  – втрати від недоамортизації, грн.

Таблиця 8.1 – Техніко-економічні показники базового та удосконаленого абсорбера

| Назва показників            | Одиниця вимірювання | Конструкція |               |
|-----------------------------|---------------------|-------------|---------------|
|                             |                     | Базовий     | Удосконалений |
| 1                           | 2                   | 3           | 4             |
| Поверхня масообміну         | м <sup>2</sup>      | 130         | 155           |
| Тиск в апараті              | МПа                 | 0,64        | 0,64          |
| Температура в апараті       | °С                  | 120         | 120           |
| Габаритні розміри апарату:  |                     |             |               |
| висота                      | м                   | 5,83        | 4,8           |
| діаметр                     | м                   | 1,4         | 2,2           |
| продуктивність апарату      | м <sup>3</sup> /с   | 4           | 4             |
| Вартість апарату (первісна) | млн. грн            | 1,8         | 1,5           |
| Гідравлічний опір апарата   | кПа                 | 10          | 6,5           |
| Тривалість ремонтного циклу | років               | 2,5         | 4,0           |

Таблиця 8.2 – Значення коефіцієнту ефективності витрат на удосконалене устаткування.

| Величина $n_{p_i}$ | Доцільність вдосконалення                              |
|--------------------|--------------------------------------------------------|
| $n_{p_i} > 0$      | Вдосконалення доцільне                                 |
| $n_{p_i} < 0$      | Вдосконалення не доцільне                              |
| $n_{p_i} = 0$      | Рішення про вдосконалення приймається з інших чинників |

Сумарні витрати на вдосконалення, грн:

$$M_i = \Phi_{\text{поч}}^{\text{мод}} K_m = 1500000 \cdot 0,071 = 106500$$

де  $\Phi_{\text{поч}}^{\text{мод}} = 1500000$  грн – початкова ціна обладнання, яке треба модифікувати, згідно з даними підприємств що використовують аналогічне обладнання;

$K_m = 0,071$  – коефіцієнт витрат [20].

Перевищення витрат на вдосконалення під час експлуатації, грн:

$$S_{e_i} = \Phi_{\text{поч}}^{\text{мод}} q_{b1} - \Phi_{\text{поч}}^{\text{нов}} q_{b2} = 1500000 \cdot 0,16 - 1542888 \cdot 0,14 = 22500,$$

де  $q_{b1} = 0,16$  – коефіцієнт експлуатаційних витрат обладнання що модифікують;

$q_{b2} = 0,14$  – коефіцієнт експлуатаційних витрат нового обладнання.

Коефіцієнт співвідношення між обладнанням:

$$\alpha = \frac{\Delta P_{\text{аналога}}}{\Delta P_{\text{модернізованого}}} = \frac{10000}{6500} = 1,54,$$

де  $\Delta P_{\text{аналога}} = 10000$  Па – гідравлічний опір обладнання яку модифікується;

$\Delta P_{\text{модернізованого}} = 6500$  Па – гідравлічний опір нового обладнання.

Коефіцієнт співвідношення між обладнанням під час ремонтного циклу:

$$\beta = \frac{T_{\text{мод}}}{T_{\text{нов}}} = \frac{4}{2,5} = 1,6,$$

де  $T_{\text{мод}} = 4$  роки – тривалість циклу ремонту обладнання що модифікується;

$T_{\text{нов}} = 2,5$  роки – тривалість циклу ремонту нового обладнання.

Коефіцієнт ефективності витрат:

$$n_{p_i} = 1 - \frac{M_i + S_{e_i}}{\Phi_{\text{поч}}^{\text{нов}} \alpha \beta + S_{a_i}} = 1 - \frac{106500 + 22500}{1542888 \cdot 1,54 \cdot 1,6 + 100000} = 0,33$$

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 54   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

де  $S_{a_i} = 100000$  грн. - втрати від недоамортизації [32].

Висновок: розраховане значення коефіцієнту  $n_{p_i} = 0,33 > 0$ , то згідно з таблицею 8.2 удосконалення є техніко-економічно вигідним.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 55   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

## Висновки

У дипломному проекті освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» на тему «Модернізація установки виробництва етанової кислоти з розробкою теплообмінника» модернізовано теплообмінник для нагрівання етанолу.

Суть модернізації полягає у збільшенні поверхні теплообміну. Розроблена конструкція забезпечує більшу поверхню теплообміну, ніж при застосуванні аналога із пропорційними розмірами, тому при її застосуванні габарити теплообмінника менші, що позитивно впливає на енерго- та матеріаловитрати.

У результаті виконання дипломного проекту було зроблено опис технологічного процесу; обрано тип теплообмінника; обґрунтовано вибір конструкції апарата; порівняно основні показники розробленої конструкції з аналогами; проведено патентне дослідження; розроблено рекомендації з охорони праці. Проведені розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій обраного апарата, а саме: параметричний розрахунок, розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки, товщини еліптичного днища, розрахунок штуцерів, укріплення отворів, розрахунок елементів апарата на міцність, розрахунок гідравлічних опорів. Розроблено рекомендації щодо монтажу та експлуатації, визначено рівень стандартизації та уніфікації, здійснено техніко-економічне обґрунтування модернізації. Результати розрахунків зведені в розрахунково-пояснювальну записку. Всі розрахунки виконано в програмному середовищі *Mathcad* та частину з них наведено у додатку.

Графічна частина проекту виконана у середовищі *Inventor Profesional 2022* і включає в себе технологічну схему виробництва – А1; складальні креслення: теплообмінника – А1, трубчатки – А1, розподільчої камери – А2, кришки – А3, опори – А3; плакати: 3D модель спроектованого теплообмінника – А3. До складальних креслень виконані специфікації.

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

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 56   |



## Conclusion

In the bachelor's degree project on the topic "Modernization of the ethanoic acid production unit with the development of a heat exchanger", the heat exchanger for ethanol heating was modernized.

The essence of the modernization is to increase the heat exchange surface. The developed design provides a larger heat exchange surface than when using an analog with proportional dimensions, so when used, the dimensions of the heat exchanger are smaller, which has a positive effect on energy and material consumption.

As a result of the diploma project, a description of the technological process was made; the type of heat exchanger was selected; the choice of the device design was substantiated; the main indicators of the developed design were compared with analogues; a patent study was conducted; and recommendations for labor protection were developed. Calculations were made to confirm the performance and reliability of the selected apparatus, namely: parametric calculation, calculation of the wall thickness of the cylindrical shell, the thickness of the elliptical bottom, calculation of fittings, reinforcement of holes, calculation of apparatus elements for strength, calculation of hydraulic resistance. Recommendations for installation and operation were developed, the level of standardization and unification was determined, and a feasibility study for modernization was carried out. The results of the calculations were summarized in an explanatory note. All calculations were performed in the Mathcad software environment and some of them are shown in the appendix.

The graphic part of the project was made in the Inventor Professional 2022 environment and includes a production flow chart – A1; assembly drawings: heat exchanger – A1, tube – A1, distribution chamber – A2, cover – A3, support – A3; posters: 3D model of the designed heat exchanger - A3. Specifications were prepared for the assembly drawings.

During the project implementation period, 2 all-Ukrainian English-language abstracts were published for the scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 57   |

## Перелік посилань

1. CN115854749A Fuel cell waste heat utilization heat exchanger
2. CN115839630A Cold-taking heat exchanger for cold energy recovery
3. CN115790213A Bidirectional enhanced heat transfer tube heat exchanger
4. CN115854748A Composite shell-and-tube heat exchanger for heat exchange of supercritical fluid
5. KR20220025362A EXHAUST SYSTEM
6. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков В.Н. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.
7. Методичні вказівки до практичних занять для студентів спеціальності “Галузеве машинобудування” (Спеціалізація: Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв) з дисципліни “Розрахунок і конструювання типового обладнання – 1. Розрахунок і конструювання тонкостінних посудин, опор та стропових пристроїв”: [Електронний ресурс]: НТУУ „КПІ”; уклад. І. А. Андреев. – Київ: НТУУ „КПІ ім. Ігоря Сікорського”, 2017. – 105 с.
8. Корнієнко Я.М. Процеси та обладнання хімічної технології [Текст]: підруч. / Я.М. Корнієнко, Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонок та ін. - К.: НТУУ "КПІ", 2011. -Ч. 2. - 416 с
9. Укріплення отворів в посудинах та апаратах [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», освітньопрофесійної програми «Обладнання хімічних, нафтопереробних та целюлозно-паперових виробництв» / І. А. Андреев; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,1 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 72 с.
10. Конструювання і розрахунок кожухотрубних теплообмінників [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / Ігор Андреев; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 5,1 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 140 с.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 58   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

11 .Мікульонок І.О. Виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв: підручник. Київ: НТУУ «КПІ», 2010. 412 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/2061>.

12 Задольський А.М., Шаповаленко О.О. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломних проектів бакалаврів. Київ, 2010.

13 Методичні вказівки до виконання економічного розділу дипломних проектів/ НТУУ «КПІ» ; уклад. Г. К. Яловий, О. В. Іваницька, Т. В. Павленко. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,09 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2011.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 59   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

**Додаток А**  
**Документація патентного дослідження**

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

РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ № ЛН91.065111РП

Найменування теми Кожухотрубний теплообмінник

шифр теми ЛН91.065111

Етап Проектування апарата та його основних частин

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень

ЛН91.065111

Обґрунтування регламенту пошуку **Предмет пошуку:** - теплообмінник  
(Об'єктом пошуку є винаходи та корисні моделі).

**Мета пошуку інформації** – визначення патентної ситуації щодо теплообмінних апаратів (визначення патентноздатності проєктованого апарату і визначення тенденцій розвитку даного напрямку в техніці).

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

**Ретроспективність.** Термін дії патенту на винахід в Україні – 20 років, на корисну модель - 6 років, тому регламент пошуку встановлюємо такий: 2022-2023.

**Класифікаційні індекси.** Міжнародна патентна класифікація: :

МПК5 - А61L9/14; В01D47/06; В01D47/10; В01D47/12; В01D47/14, F25B37/00; F28F9/24.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 60   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Уніфікована десяткова класифікація УДК 065.143.

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

Початок пошуку 17.05.2023 Закінчення пошуку 21.05.2023

Довідка про пошук № ЛН91.062111 ДП

Завдання на проведення патентних досліджень ЛН91.065111.000

(номер, дата)

Етап - Проектування апарата та його складових частин.

Номер, дата, завдання на проведення патентних досліджень

ЛН91.09.17.05.2023.

Номер, дата регламенту пошуку ЛН91.065 РП 17.05.2023,

Початок пошуку 17.05.2023 Закінчення пошуку 21.05.2023.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 61   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

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

| Предмет пошуку<br>(ОГД, його складові частини) | Мета пошуку інформації                                                                       | Держава пошуку                                                                                  | Класифікаційні індекси                                                                                    | Ретро-спективність пошуку | Джерела інформації                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Кожухотрубний теплообмінник                    | Визначення патентоздатності проектного апарата й тенденції розвитку цього напрямку в техніці | Україна, США, Велика Британія, Німеччина, Франція, Японія, Канада, Швейцарія, Китай, Фінляндія. | <u>МПК</u><br>A61L9/14;<br>B01D47/06;<br>B01D47/10;<br>B01D47/12;<br>B01D47/14,<br>F25B37/00;<br>F28F9/24 | 2022–2023                 | Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию. /Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский и др/ под ред Ю. И Дытнерского М.: Химия, 1991. - 496 с<br><br>Процеси та обладнання хімічної технології /Я.М. Корнієнко, І.О. Мікульонок, та інші./ НТУУ «КПІ», 2011. Ч.1 – 300 с.; Ч.2 – 416 с. |

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

| Предмет пошуку (ОГД, його складові частини) | Держава пошуку                                                                                  | Класифікаційні індекси                                                                                    | Інформаційна база, яка використана під час пошуку                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Бібліографічні дані першого та останнього за хронологією джерела інформації                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                             |                                                                                                 |                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | патентна інформація                                                                                                            | інша науково-технічна інформація                                                                                                                                                                                                                                    |
| 1                                           | 2                                                                                               | 3                                                                                                         | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 5                                                                                                                              | 6                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Очисний апарат                              | Україна, США, Велика Британія, Німеччина, Франція, Японія, Канада, Швейцарія, Китай, Фінляндія. | <u>МПК</u><br>A61L9/14;<br>B01D47/06;<br>B01D47/10;<br>B01D47/12;<br>B01D47/14,<br>F25B37/00;<br>F28F9/24 | Фонд КПП ім. Ігоря Сікорського<br>Державний патентний фонд бази даних об'єктів промислової власності, до яких надається безкоштовний доступ в Інтернеті<br><br><a href="http://www.patents.google.com/">http://www.patents.google.com/</a><br><a href="https://worldwide.espacenet.com">https://worldwide.espacenet.com</a><br><a href="http://uapatents.com/">http://uapatents.com/</a> | Описи винаходів патентів України №№ 1-60000.<br>Описи корисних моделей патентів України №№ 1-2000.<br>Описи винаходів патентів | Журнали "Химическое, нефтеперерабатывающее и полимерное машиностроение", "Тепломасообмен" УРЖ "Хімічна промисловість України"<br>Процеси та обладнання хімічної технології /Я.М. Корнієнко, І.О. Мікульонок, та інші./ НТУУ «КПІ», 2011. Ч.1 – 300 с.; Ч.2 – 416 с. |

Таблиця А.3 – Винаходи, що відібрані для аналізу.

| Назва апарата                                       | Документи на об'єкти промислової власності                                                                                                                                                                                                                                                              |                           |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
|                                                     | Бібліографічні дані                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Відомості щодо їхньої дії |
| 1                                                   | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 3                         |
| Fuel cell waste heat utilization heat exchanger     | Patent CN115854749A, МПК F28D7/16; F28F9/22; G06F30/18; G06F30/20; H01M8/04007; H01M8/04029; G06F113/14; G06F119/08. Fuel cell waste heat utilization heat exchanger. SICHUAN RONGCHUANG NEW ENERGY POWER SYSTEM CO LTD – Application: CN202310134017A·2023-02-20. Publication: CN115854749A·2023-03-28 | Діє                       |
| Cold-taking heat exchanger for cold energy recovery | Patent CN115839630A;CN113883751B, МПК F28D15/02; F28F1/42. Cold-taking heat exchanger for cold energy recovery. HANGYANG GROUP CO LTD – Application: CN202310133109A·2023-02-20. Publication: CN115839630A·2023-03-24.                                                                                  | Діє                       |



Продовження таблиці А.3 – Винаходи, що відібрані для аналізу

| 1                                                                                | 2                                                                                                                                                                                                                                             | 3   |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Bidirectional enhanced heat transfer tube heat exchanger                         | Patent CN115790213A, МПК F28D7/16; F28F19/01; F28F9/00. Bidirectional enhanced heat transfer tube heat exchanger. HENAN JINXIN INTELLIGENT TECH CO LTD – Application: CN202310075979A·2023-02-07. Publication: CN115790213A·2023-03-14.       | Діє |
| Composite shell-and-tube heat exchanger for heat exchange of supercritical fluid | Patent CN115854748A. МПК F28D7/00; F28D7/16; F28F9/22. Composite shell-and-tube heat exchanger for heat exchange of supercritical fluid. UNIV XI AN JIAOTONG – Application: CN202211667959A·2022-12-23. Publication: CN115854748A·2023-03-28. | Діє |
| Exhaust system                                                                   | Patent KR20220025362A. МПК B63H21/32; B63J2/12; F01N3/02; F01N5/02. Exhaust system. DAEWOO SHIPBUILDING & MARINE [KR] – Application: KR20200105973A·2020-08-24. Publication: KR20220025362A·2022-03-03.                                       | Діє |

Додаток Б

Патенти, які були використані

(19) 国家知识产权局



(12) 发明专利申请



(10) 申请公布号 CN 115854749 A

(43) 申请公布日 2023.03.28

(21) 申请号 202310134017.5

H01M 8/04029 (2016.01)

(22) 申请日 2023.02.20

H01M 8/04007 (2016.01)

(71) 申请人 四川荣创新能动力系统有限公司  
地址 610500 四川省成都市新都区君跃路  
618号

G06F 113/14 (2020.01)

G06F 119/08 (2020.01)

(72) 发明人 殷枢 陶诗涌 杨春华 徐丰云  
张伟明 周厚庆

(74) 专利代理机构 成都正德明志知识产权代理  
有限公司 51360

专利代理师 陈瑶

(51) Int.Cl.

F28D 7/16 (2006.01)

G06F 30/18 (2020.01)

G06F 30/20 (2020.01)

F28F 9/22 (2006.01)

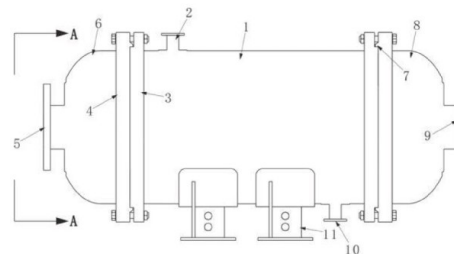
权利要求书3页 说明书9页 附图2页

(54) 发明名称

一种燃料电池余热利用换热器

(57) 摘要

本发明公开了一种燃料电池余热利用换热器,其包括换热壳体,换热壳体的两端通过实心法兰盘封装,换热壳体的两端分别设置有热源进口腔和热源出口腔,热源进口腔和热源出口腔上分别设置有热源进口和热源出口;换热壳体内设置有若干换热管,若干换热管均匀分布在换热壳体内;换热壳体的上端和下端分别设置有冷源出口和冷源进口,换热壳体内设置有与冷源出口和冷源进口连通的Z形通道,换热管穿过Z形通道。本发明在不影响换热效率与流体阻力的情况下有效减小了整个换热器的体积,提高换热器使用的便捷性,使换热器在燃料电池中的应用中更加广泛。



CN 115854749 A

ЛН91.065111.001 ПЗ

Арк.

66

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

(19) 国家知识产权局



(12) 发明专利申请



(10) 申请公布号 CN 115839630 A

(43) 申请公布日 2023.03.24

(21) 申请号 202310133109.1

(22) 申请日 2023.02.20

(71) 申请人 杭氧集团股份有限公司  
地址 310000 浙江省杭州市临安区青山湖  
街道相府路799号

(72) 发明人 任美凤 韩一松 田国栋 沈今阳

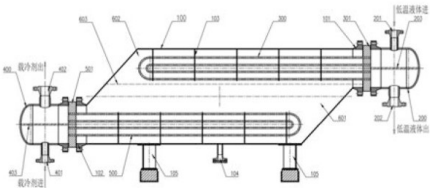
(74) 专利代理机构 杭州九洲专利事务有限公  
司 33101  
专利代理师 陈琦

(51) Int. Cl.  
F28D 15/02 (2006.01)  
F28F 1/42 (2006.01)

权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称  
一种冷能回收用取冷换热器

(57) 摘要  
一种冷能回收用取冷换热器,用于将低温液体的气化冷量高效地传递给载冷剂,包括壳体、右封头、冷流体换热管、左封头与热流体换热管,壳体右端设有右成对法兰,用于与右封头连接;左端设有左成对法兰,用于与左封头连接,壳体内设有多个支撑板,在壳体下方开设有充注口,所述中间冷媒液体具有气液转换特性且其凝固点的温度低于低温液体的温度,其作用是将低温液体的冷量高效地传递给载冷剂,所述壳体下方设有支撑脚,用于将换热器稳定固定于地面。本发明可用于替代以往的复杂换冷系统,具有结构简单,使用方便,换热高效、运行稳定等诸多优点。



CN 115839630 A

(19) 国家知识产权局



(12) 发明专利申请



(10) 申请公布号 CN 115790213 A

(43) 申请公布日 2023.03.14

(21) 申请号 202310075979.8

(22) 申请日 2023.02.07

(71) 申请人 河南金心智能科技有限公司  
地址 453000 河南省新乡市凤泉区大块镇  
丰源路14号

(72) 发明人 尹霞

(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 路宽

(51) Int. Cl.

F28D 7/16 (2006.01)

F28F 19/01 (2006.01)

F28F 9/00 (2006.01)

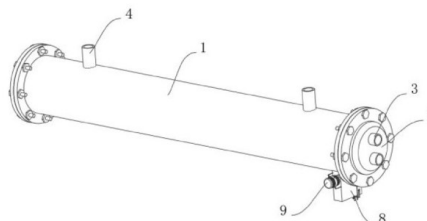
权利要求书2页 说明书8页 附图10页

(54) 发明名称

一种双向强化传热管换热器

(57) 摘要

本发明公开了一种双向强化传热管换热器，包括管壳，管壳的两端均安装有管盖，管盖的外壁连通有两个第一进液管，管壳的圆弧面连通有两个第二进液管，管壳的内壁安装有两个安装板，两个安装板的表面连通有若干个换热管，若干个换热管的圆弧面安装有若干个挡流板，挡流板与管壳的内壁固定连接，还包括分别设置于管壳进水端的内壁，用于对流经第一进液管的液体进行过滤，除去液体中混有的颗粒状异物的过滤结构，此双向强化传热管换热器，通过设置过滤结构，达到能够对液体中的颗粒状异物进行过滤，尽量防止颗粒状异物流入换热管内造成换热管内壁结垢甚至堵塞换热管的情况发生，从而保证换热管的换热效率不受影响，进而使换热器能够正常工作的作用。



CN 115790213 A

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 68   |

(19) 国家知识产权局



## (12) 发明专利申请



(10) 申请公布号 CN 115854748 A

(43) 申请公布日 2023.03.28

(21) 申请号 202211667959.1

(22) 申请日 2022.12.23

(71) 申请人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市碑林区咸宁西路28号

(72) 发明人 郭烈锦 欧国标 葛志伟 金辉

陈渝楠 程珂

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任

公司 61200

专利代理师 高博

(51) Int. Cl.

F28D 7/16 (2006.01)

F28D 7/00 (2006.01)

F28F 9/22 (2006.01)

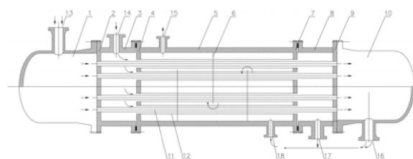
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

### (54) 发明名称

一种超临界流体换热用复合管壳式换热器

### (57) 摘要

本发明公开了一种超临界流体换热用复合管壳式换热器,前壳体上设有超临界水入口,后壳体上设有超临界水出口;前管箱上设有超临界流体入口,后管箱上设有超临界水第一出口,主壳体上设有超临界流体第二入口与超临界流体第二出口;运行过程中,高温超临界流体经前管箱流经内管,并从后管箱流出,然后由超临界流体第二入口进入主壳体并横掠换热管束,换热管环形空间的超临界水与内管及换热管外的超临界流体完成双重换热。



CN 115854748 A

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 69   |



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0025362  
(43) 공개일자 2022년03월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

F01N 3/02 (2006.01) B63H 21/32 (2020.01)

B63J 2/12 (2006.01) F01N 5/02 (2006.01)

(52) CPC특허분류

F01N 3/0205 (2013.01)

B63H 21/32 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2020-0105973

(22) 출원일자 2020년08월24일

심사청구일자 없음

(71) 출원인

대우조선해양 주식회사

경상남도 거제시 거제대로 3370 (아주동)

(72) 발명자

김민우

경상남도 거제시 용소1길 17-17, 108동 2004호

전승배

경상남도 거제시 옥포로 260, 3동 404호

(74) 대리인

신동기

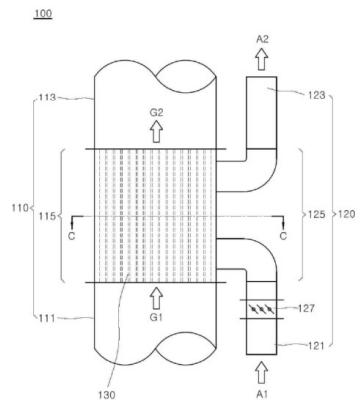
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 배기 시스템

### (57) 요약

본 발명은 배기 시스템에 관한 것으로서, 본 발명의 실시예에 따르는 배기 시스템은 내부에서 발생된 고온의 배기가스를 외부로 배출시키는 배기가스관; 상기 배기가스관과 적어도 일부가 연결되며, 실내 룠의 저온 공기를 상기 고온의 배기가스를 이용하여 설정 온도로 데운 후 외부로 배출시키는 배기공기덕트; 및 상기 배기가스관과 상기 배기공기덕트 간의 적어도 일부 연결 구간에 형성되는 헬 튜브 열교환기;를 포함한다.

대표도 - 도1



**Додаток В**  
**Програма розрахунку товщини стінки циліндричної обичайки**

Таблиця В.1 – Перелік ідентифікаторів

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

$$+ \sigma := 163 \cdot 10^9$$

$$D := 0.8$$

$$p := 0.64 \cdot 10^6$$

$$\varphi := 1$$

$$S_R := \frac{p \cdot D}{2 \cdot \sigma \cdot \varphi - p} = 1.574 \times 10^{-3}$$

$$C_e := 0$$

$$C_1 := 0.001 \quad C_0 := 0.000426$$

$$S_1 := S_R + C_1 + C_0 = 3 \times 10^{-3}$$

$$C_2 := 0.00016$$

$$C_3 := 0$$

$$\frac{C_2 + C_3}{S_1} = 0.053$$

$$C := C_1 + C_2 + C_3 = 1.16 \times 10^{-3}$$

$$C_0 := 2.266 \times 10^{-3}$$

$$S := S_R + C + C_0 = 5 \times 10^{-3}$$

$$C_2 := 0.0002$$

$$\frac{C_2 + C_3}{S} = 0.04$$

$$C := C_1 + C_2 + C_3 = 1.2 \times 10^{-3}$$

$$\frac{S - C}{D} = 4.75 \times 10^{-3}$$

$$p' := \frac{2 \cdot \sigma \cdot \varphi \cdot (S - C)}{D + S - C} = 1.541 \times 10^6 \quad p' > p = 6.4 \times 10^5$$

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 72   |



Додаток Г  
Публікації автора

Збірник тез доповідей XXXI всеукраїнської науково-практичної конференції студентів,  
аспірантів і молодих вчених "Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних  
матеріалів"



Національний технічний університет  
України «Київський політехнічний  
інститут  
імені Ігоря Сікорського»  
Інженерно-хімічний факультет



**Збірник тез доповідей XXXI всеукраїнської  
науково-практичної конференції студентів,  
аспірантів і молодих вчених**

**”ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ  
ВИРОБНИЦТВ  
І ПІДПРИЄМСТВ БУДІВЕЛЬНИХ  
МАТЕРІАЛІВ”**

5-7 грудня  
Київ 2022

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 73   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

УДК 66.047

**HEAT EXCHANGER FOR HEATING OF THE GAS MIXTURE COOLING  
IN TECHNOLOGICAL SCHEME OF ACETIC ACID PRODUCTION**

student Gurin Y. S., Ph.D., Ph.D., Senior Lecturer Haidai S.S.,  
Associate Professor Stepaniuk A.R.,

**National Technical University of Ukraine**

**«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»**

**ANNOTATION:** *The process of ethanol production by hydration of ethylene is considered. The technological scheme has also been presented and reviewed.*

**KEY WORDS:** METHANOL, ACETIC, ACID, CARBONIZATION, SHELL AND TUBE, HEAT EXCHANGER.

**ТЕПЛООБМІННИК ДЛЯ НАГРІВУ ГАЗОВОЇ СУМІШІ  
ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ЕТАНОВОЇ  
КИСЛОТИ**

студент Гурин Є. С., к.т.н., ст. викл. Гайдай С.С., к.т.н., доц. Степанюк А. Р.

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**АНОТАЦІЯ:** *Розглянуто процес виробництва етанової кислоти шляхом карбонілювання метанолу. Технологічна схема також розглянута та додана.*

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** МЕТАНОЛ, ЕТАНОВА, КИСЛОТА, КАРБОНІЛЮВАННЯ, КОЖУХО-ТРУБНИЙ, ТЕПЛООБМІННИК.

World production of acetic acid has been growing recently, as it is used for the production of artificial silk, plastics, dyes. It is also actively used in the food industry, where it is an officially registered food additive under the number E260 and is used as an acidity regulator [1].

Acetic acid is a transparent and colorless liquid with a characteristic and pungent odor and sour taste. It has hygroscopic properties, miscible with water in any proportions. It is effectively mixed with many other solvents, and has good dissolving properties [1].

In concentrated form it is a caustic chemical that can adversely affect human tissues. It leaves burns on the organs of the digestive system when consumed. It belongs to toxic reagents, 20 ml of concentrated acetic acid is considered a lethal dose for humans. When inhaled, acid vapors irritate the mucous membrane of the respiratory system. Acetic acid is also flammable. Aqueous solutions with a concentration of no more than 30% are considered safe [1].

A large amount of acetic acid is used in the food industry. It is used for the production of canned products, sauces and confectionery.

Acetic acid is also used in pharmacology, where it is an ingredient of many drugs, such as aspirin, phenacetin.

Acetic acid is also used in the chemical industry. It is used to produce acetone, acetyl cellulose, as well as many paints and varnishes and other substances. In production, the soluble properties of this compound are used, which are necessary for cleaning, fumigating procedures.

It can be used in the perfumery industry in the production of perfumes, colognes and deodorants. Also in the textile industry acetic acid salts are used for the treatment of fabrics before dyeing.

Part of the technological scheme of methanol carbonylation in Figure 1 [2].

The bubbling type 1 synthesis reactor, equipped with a stirring device, is fed by a pump from the assembly with methanol, which is preheated with water



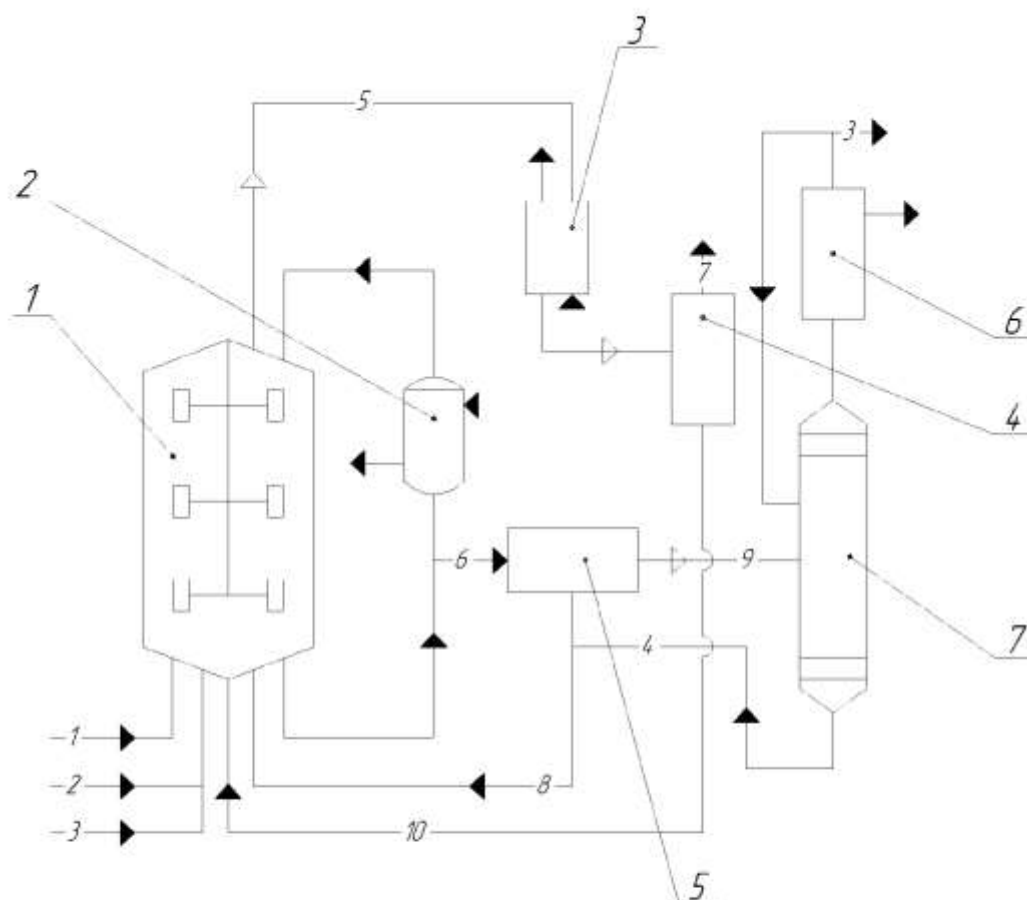
vapor from 40 to 140-180 ° C. Carbon monoxide enters the reactor through the bubbling ring, resulting in the formation of a dispersed phase that promotes rapid dissolution of gas in the reaction mixture. The residence time of the substances in the reaction zone (0.25-0.30 h) is regulated by the liquid level in the reactor (75-80% of its capacity), and the completeness of the synthesis process at a pressure of 2.8 MPa and a temperature of 185 ° C is thoroughly mixed by stirring all the streams entering the reactor with a stirrer.

The reaction liquid (acetic acid and catalyst solution with a promoter) from reactor 1 enters the separator 5, where due to a decrease in pressure to 62 kPa, partial evaporation of the liquid occurs and the temperature drops to 116 ° C. Here, steam is separated from the liquid. The liquid containing the catalyst is returned from the lower part of the separator 5 to the reactor 1, and the vapors coming from the upper part of the separator enter the light fraction distillation column 7. These vapors contain acetic acid, methyl iodide, hydrogen iodide, water and small amounts of methanol, methyl acetate,

Methyl iodide with water and acetic acid vapors is taken from the upper part of column 7, condensed in the condenser refrigerator 3 and separated in the separator 6 into two phases: heavy and light. The heavy phase, containing mainly methyl iodide, is returned to reactor 1; part of the light phase is used as phlegm for irrigation of column 7, and part is returned to the synthesis reactor.

The heavy phase consisting of methyl iodide and acetic acid is removed from the cube of column 1; this stream flows by gravity to separator 5 and thus hydrogen iodide and rhodium are returned to the cycle.

Crude acetic acid is taken from the middle part of the column 7 and sent to the purification stage.



- 1 – reactor; 2 – tube heat exchanger; 3 – refrigerator; 3 – hydrator;  
 4, 5, 6 – separator; 7 – rectification column;  
 Flues: 1 – carbon monoxide; 2 – methanol; 3 – water; 4 – cubic residues;  
 5, 7, 9 – flue gases; 6, 8, 10 – liquid phase;

Figure 1 – Technological scheme of methanol carbonylation

Exhaust gases containing vapors of methyl iodide, acetic acid and water are removed from the upper part of the synthesis reactor 1. After cooling in the condenser refrigerator 3, the gas phase is separated from the liquid phase in the

separator 4, after which the liquid is returned to the synthesis reactor, and the gas is sent for purification.

The heat exchanger is not the main apparatus of the technological scheme shown in Figure 1, but it is an integral part of the technological scheme of acetic acid production. It is where the liquid is heated and cooled, which is necessary for the further process. Therefore, it is necessary to choose the device, which in these conditions will show the greatest productivity.

### References

1. Kasatkin AG Basic processes and devices of chemical technology. – M.: Chemistry. – 1971. – 784 P.
2. Chemistry – Production of acetic acid from methanol and carbon monoxide. – [electronic source]. – access mode: <https://jak.koshachek.com/articles/virobnictvo-octovoi-kisloti-z-metanolu-ta-oksidu.html>

Збірник тез доповідей XXXII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів,  
аспірантів і молодих вчених "Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних  
матеріалів"



Національний технічний університет  
України «Київський політехнічний  
інститут  
імені Ігоря Сікорського»  
Інженерно-хімічний факультет



**Збірник тез доповідей XXXII Всеукраїнської  
науково-практичної конференції студентів,  
аспірантів і молодих вчених**

**”ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ  
ВИРОБНИЦТВ  
І ПІДПРИЄМСТВ БУДІВЕЛЬНИХ  
МАТЕРІАЛІВ”**

3 травня

Київ 2023

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ЛН91.065111.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 79   |



УДК 66.047

**HEAT EXCHANGER FOR HEATING OF THE GAS MIXTURE COOLING  
IN TECHNOLOGICAL SCHEME OF ACETIC ACID PRODUCTION**

Gurin Y. S., Haidai S.S.

**National Technical University of Ukraine**

**«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»**

**ANNOTATION:** *An analysis of various types of heat exchangers was carried out. The apparatus for the technological scheme of the production of ethanoic acid was selected.*

**KEY WORDS:** METHANOL, ACETIC, ACID, CARBONIZATION, SHELL AND TUBE, HEAT EXCHANGER.

**ТЕПЛООБМІННИК ДЛЯ НАГРІВУ ГАЗОВОЇ СУМІШІ  
ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ЕТАНОВОЇ  
КИСЛОТИ**

Студент Гурін Є. С., старший викладач, к.т.н. Гайдай С. С.

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**АНОТАЦІЯ:** *Проведено аналіз різних типів теплообмінних апаратів. Обрано апарат для технологічної схеми виготовлення етанової кислоти.*

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** МЕТАНОЛ, ЕТАНОВА, КИСЛОТА, КАРБОНІЛЮВАННЯ, КОЖУХО-ТРУБНИЙ, ТЕПЛООБМІННИК.



In the technological scheme for the production of ethanoic acid, the heat exchanger is not the main device, but the heating process is important. Because maintaining the optimum temperature for is important for the main process.

One of the most common devices is a shell-and-tube heat exchanger. This device is quite simple in structure and consists of a body, covers and pipe boards to which pipes are welded. In a shell-and-tube heat exchanger, one of the substances moves inside the tubes (in the tube space), and the other in the intertube space. Substances are usually directed countercurrently to each other. At the same time, the substance that is heated is directed from the bottom up, and the substance that gives off heat - in the opposite direction.

This direction of movement of each substance coincides with the direction in which this substance tends to move under the influence of a change in its density during heating or cooling. In addition, with the indicated directions of movement, a more uniform distribution of speeds and identical conditions of heat exchange in terms of the cross-sectional area of the apparatus are achieved.

Advantages: Sufficiently high speed in the pipes with large volumetric expenses of the medium moving in them. Ease of construction and operation.

Disadvantages: the total cross-section of the pipes is relatively large, which allows obtaining sufficiently high speeds in the pipes only with large volume flows of the substance; low heat transfer coefficient; a small temperature difference of the media between which heat exchange takes place.

Two-pipe heat exchangers are also used in processes that occur at high temperatures. Heat exchangers of this design consist of several tubular elements connected in series, formed by two concentrically placed pipes. One substance moves along the inner tubes, and the other between the inner and outer tubes.

Advantages: high speeds of fluid movement, the ability to work with low consumption of coolants, high heat transfer coefficients.

Disadvantages: bulky, metal-intensive.

Another type of heat exchanger is a plate heat exchanger. In this type of apparatus, the heat exchange surface is formed by parallel plates, with the help of which a system of channels with a thickness of 3-6 mm is formed. Fluids between which heat exchange occurs move in channels on opposite sides of the wall.

Advantages: easy to disassemble and clean from dirt.

Disadvantages: inability to work at high pressures.

Taking into account the advantages and disadvantages of the above types of devices, a shell-and-tube heat exchanger was chosen for the process of heating the gas mixture of the technological scheme of the ethanoic acid manufacturing process.

### References

1. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Приклади та задачі з курсу процесів та апаратів хімічної технології. – Д.: Хімія, 1981. – 560 с.
2. Основні процеси та апарати хімічної технології: Посібник із проектування/під ред. Ю.І. Дитнерського. – 2-е вид., перероб. та доп.: Хімія, 1991.– 496 с.