

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

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри МАХНВ

_____ Андрій СТЕПАНЮК

(підпис)

“ _ ” _____ 20__ р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ

на здобуття ступеня бакалавра

Напрямок підготовки: 13 Машинобудування

Спеціальність: 133 Галузеве машинобудування

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

на тему: Модернізація випарного апарату установки опріснення морської води з утилізацією концентрату

Виконала студентка IV курсу, групи ЛН-11

Маргарита ВОВК

Керівник проєкту канд. техн. наук, ст. викл. Аліна ТАТАРНИКОВА

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

_____ (підпис)

Консультанти:

з охорони праці канд. техн. наук, ст. викл. Андрій КОВТУН

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

_____ (підпис)

з економіки канд. техн. наук, доцент Сергій ГУЛІЄНКО

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

_____ (підпис)

Рецензент:

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

_____ (підпис)

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

Студент _____ Маргарита Вовк

Київ – 2025

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

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки: 13 Машинобудування

Спеціальність: 133 – Галузеве машинобудування

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАХНВ

_____ Андрій СТЕПАНЮК

(підпис)

“ __ ” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенті

Вовк Маргариті Євгеніївні

1. Тема проєкту: Модернізація випарного апарату установки опріснення морської води з утилізацією концентрату

керівник проєкту Аліна Татарнікова кандидат технічних наук, старший викладач
затверджена наказом по університету від “ __ ” _____ 2025 р.

2. Термін подання студентом проєкту: “ __ ” _____ 2025 р.

3. Вихідні дані до завдання по виробничій практиці:

Продуктивність по сировині 2,5 кг/с; початкова концентрація розчинених речовин в сировині 3 мас %; кінцева концентрація розчинених речовин в сировині 25 мас %.

4. Зміст пояснювальної записки: а) основна частина: розглянути існуючі

конструкції випарного апарата, обґрунтувати вибір конструкції випарного апарата; проаналізувати обрану конструкцію в порівнянні з вітчизняними та світовими аналогами; розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції:

б) параметричний, конструктивний та розрахунки на міцність і надійність елементів конструкції апарата; складальне креслення випарного апарата та його основних складальних одиниць і деталей; розроблення рекомендації щодо монтажу та експлуатації випарного апарата; оцінка рівня стандартизації та уніфікації розробки;

б) охорона праці: аналіз відповідності апарата до вимог охорони праці, викладення основних вимог безпечної експлуатації випарного апарата;

в) рекомендації щодо монтажу та експлуатації: надання рекомендацій щодо монтажу та експлуатації випарного апарату;

5. Перелік графічного (ілюстрованого) матеріалу: ескіз випарного апарата – А0, ескіз гріючої камери – А1, технологічна схема – А1.

6. Консультанти розділів проєкту:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Андрій КОВТУН доцент		
Економіка	Сергій ГУЛІЄНКО доцент		

7. Дата видачі завдання: 14 квітня 2025 р.

Завдання прийняла до виконання студентка ЛН-11 _____ М. Є. Вовк
(підпис, дата)

Керівник дипломного проєкту, старший викладач _____ А. В. Татарнікова
(підпис, дата)

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	
1	Узгодження теми, вихідних даних, визначення джерел інформації. Обґрунтування актуальності проєкту	14.04.25	
2	Патентне дослідження. Формування змісту модернізації (на основі зміни технологічної схеми, конструкції апарату, його елементів, речовин).	18.04.25	
3	Опис установки. Схема установки. Вибір і опис конструкції апарату зворотного осмосу. Технічна характеристика апарату. Вибір матеріалів.	23.04.25	
4	Параметричний розрахунок: визначення основних розмірів апарату.	24.04.25	
5	Розробка складальних креслень апарату і його складальних одиниць. Вибір конструктивних параметрів конструктивних елементів апарату.	27.04.25	
6	Розрахунки на міцність. Розробка алгоритмів та програм розрахунку..	28.04.25	
7	Уточнення графічної частини проєкту та специфікацій.	02.05.25	
8	Обґрунтування економічної доцільності модернізації.	12.05.25	
9	Розробка вимог до апарату з питань охорони праці.	17.05.25	

1	2	3	4
10	Оформлення пояснювальної записки. Перевірка відповідності проєкту діючим нормам за змістом і оформленням. Підготовка до захисту. Складення плану викладення доповіді, окремих питань	30.05.25	
11	Попередній захист проєкту	12.06.25	
12	Корегування проєкту за результатами попереднього захисту. Отримання рецензії, відзиву. Підготовка до захисту	14.06.25	

Студент

_____Маргарита БОБК
(підпис)

Керівник дипломного проєкту

_____Аліна ТАТАРНІКОВА
(підпис)

РЕФЕРАТ

УДК 66.06

Модернізація випарного апарату установки опріснення морської води з утилізацією концентрату.

Дипломний проект освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр»/ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»; Керівник А. В. Татарнікова – К., 2025. – 109 с.: Викон. – М. Є. Вовк – Бібліогр.: 109 с.

Пояснювальна записка складається зі вступу, восьми розділів, висновків і списку посилань з 24 найменувань. Загальний обсяг записки становить 109 сторінок основного тексту, 15 рисунків, 3 таблиць і 4 додатків.

Метою проекту є модернізація випарного апарата з виносною циркуляційною трубою, що дозволяє підвищити ефективність роботи випарного апарата.

Записка містить опис технологічного процесу, вибір типу випарного апарату, його місце в технологічній схемі, технічну характеристику апарата, порівняння основних показників розробленої конструкції з аналогами, патентне дослідження конструкції, наведено заходи охорони праці, приведено розрахунки, що підтверджують працездатність і надійність конструкції. Також наведено рекомендації з монтажу та експлуатації. Наведено модернізацію установки та визначено очікувані техніко-економічні показники. Визначений також рівень стандартизації та уніфікації.

ВИПАРНИЙ АПАРАТ, МОРСЬКА ВОДА, ЦИРКУЛЯЦІЙНА ТРУБА

ABSTRACT

UDK 66.06

Modernization of the evaporator of the seawater desalination plant with the utilization of the concentrate.

Diploma project of the educational and qualification level "Bachelor" / "KPI named after Igor Sikorsky"; Supervisor A. V. Tatarnikova - K., 2025. - 109 p.: Executor - M. Ye. Vovk - Bibliography: 109 p.

The explanatory note consists of an introduction, eight chapters, conclusions and a list of references with 24 names. The total volume of the note consists of 109 pages of the main text, 15 figures, 3 tables and 4 appendices.

The purpose of the project is to modernize the evaporator with a remote boiling zone for the decomposition of phosphate raw materials, which allows to increase the efficiency of the evaporator.

The note contains a description of the technological process, the choice of the type of evaporator, its place in the technological scheme, the technical characteristics of the apparatus, a comparison of the main indicators of the developed design with analogues, a patent study. design, measures for labor protection are given, calculations are given that confirm the operability and reliability of the design. Recommendations for installation and operation are given. The modernization of the installations is carried out and the expected technical and economic indicators are determined. The level of standardization and unification is also determined.

EVAPORATOR, SEAWATER, CIRCULATION PIPE

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 ПРОЄКТУ

на здобуття ступеня бакалавра

Напрямок підготовки: 13 – Машинобудування

Спеціальність: 133 – Галузеве машинобудування

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

**на тему: Модернізація випарного апарату установки опріснення морської води
з утилізацією концентрату**

Київ – 2025

Зміст

Перелік скорочень, умовних позначень та термінів.....	11
Вступ.....	12
1 Призначення та область застосування випарного апарату.....	13
1.1 Опис технологічного процесу.....	13
1.2 Вибір типу апарата і його місце в технологічній схемі	14
2 Технічна характеристика випарного апарату.....	16
3 Опис і 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 розробленої конструкції з аналогами.....	19
3.4 Патентне дослідження	20
4 Охорона праці	29
4.1 Виробничий шум і вібрація.....	29
4.2 Пожежна небезпека.....	30
4.3 Електронебезпека	31
4.4 Освітлення.....	32
4.5 Повітря робочої зони	33
5. Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій.....	35

					<i>ЛН11.066342.001 ПЗ</i>		
<i>Змін.</i>	<i>Аркцш</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Вовк</i>				<i>Модернізація випарного апарата установки опріснення морської води з утилізацією концентрату</i>		
<i>Перев.</i>	<i>Татарнюкова</i>						
<i>Н.контр.</i>					<i>КПІ ім. Ізгоря Сікорського, ІХФ каф. МАХНВ</i>		
<i>Затв.</i>							

Копіював

Формат А4

5.1 Параметричний розрахунок	35
5.2 Конструктивний розрахунок.....	40
5.3 Розрахунок допоміжного обладнання.....	43
5.4 Розрахунок штуцерів	46
5.5 Розрахунок обичайки під внутрішнім тиском для гріючої камери	49
5.6 Розрахунок обичайки для сепаратора під дією зовнішнього тиску.....	52
5.7 Розрахунок еліптичного днища для сепаратора з умови міцності під зовнішнім тиском.....	55
5.8 Розрахунок конічного днища для гріючої камери при внутрішньому тиску ..	57
5.9 Розрахунок фланцевого з'єднання	60
5.10 Розрахунок теплової ізоляції	70
6. Рекомендації щодо монтажу та експлуатації.....	73
7. Рівень стандартизації та уніфікації.....	76
8. Техніко-економічне обґрунтування модернізації.....	78
8.1 Вступ.....	78
8.2 Техніко-економічне обґрунтування раціональності модернізації випарного апарату.....	79
Висновки.....	83
Conclusion.....	84
Перелік посилань.....	85
Додаток А Документація до патентного дослідження.....	88
Додаток Б Комп'ютерний розрахунок елементів випарного апарата.....	94
Додаток В Патенти, які використані в патентному дослідженні.....	98
Додаток Г Публікації автора.....	104

Перелік скорочень, умовних позначень та термінів

G_{Π} – масова продуктивність за розчином, що розділяється, кг/с;

x_{Π} – початкова концентрація розчину, що розділяється, мас. %;

x_{κ} – кінцева концентрація розчину, що розділяється, мас. %;

p – внутрішній тиск, МПа;

p_3 – зовнішній тиск, МПа;

t – температура розчину, °С;

F – площа поверхні теплообміну, м²;

D, d - діаметри, м;

n - кількість труб, шт;

S – товщина, м;

l – висота труб, м;

ρ – густина, кг/м³;

ω – швидкість руху розчину в каналах модуля, м/с;

Re – критерій Рейнольдса;

Pr – критерій Прандтля;

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Хлорид натрію – це неорганічна сполука, що складається з іонів натрію та хлору. Він є основним компонентом кухонної солі та утворюється в значних кількостях під час опріснення морської води. Він широко застосовується в різних галузях, таких як харчова промисловість, хімія, медицина, та сільське господарство.

Процес опріснення морської води спрямований на отримання прісної води для пиття, господарства чи промисловості. Водночас утворюється концентрат – побічний продукт, збагачений хлоридом натрію та іншими солями. Раціональне використання цього концентрату є важливим аспектом сучасних технологій опріснення, оскільки сприяє зменшенню впливу на довкілля та дозволяє отримувати додаткову цінну продукцію.

У хімічній промисловості його використовують як сировину для виробництва хлору, натрію, натрієвих сполук, а також як реагент у різних технологічних процесах. Застосування хлориду натрію у вигляді кухонної солі допомагає поліпшити смак страв, а також виконує функцію консерванту. В медицині його використовують у вигляді фізіологічного розчину для відновлення електролітного балансу в організмі. В сільському господарстві хлорид натрію застосовується для боротьби зі снігом і льодом на дорогах, а також як мінеральна добавка для годівлі тварин.

Модернізація випарного апарату в установці опріснення морської води спрямована на підвищення ефективності процесу опріснення, зменшення енергоспоживання та оптимізацію утилізації концентрату. Утилізація концентрату дозволяє не тільки мінімізувати відходи, але й видобувати хлорид натрію високої частоти, що має широкий спектр застосування

Метою даної дипломної роботи є модернізація випарного апарату установки опріснення морської води з утилізацією концентрату.

Завдання на проєктування видано 14 квітня 2025 року.

Дані для проєктування були отримані 14 квітня 2025 року.

					ЛН11.06534.2.001 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 Призначення та область застосування випарного апарату

1.1 Опис технологічного процесу

Установка опріснення морської води призначена для отримання прісної води з морської, шляхом видалення солей і мінералів. Продукт процесу – це прісна вода, яка використовується для пиття, побутових цілей та сільського господарства. Концентрат – це розчин солі, який утворюється після вилучення прісної води.[1-2]

Є декілька методів опріснення води. Один із них є метод дистиляції, його суть полягає в закипанні й паротворенні. Морську або солону воду нагрівають до утворення пари, окремо охолоджують і вона стає придатною до вживання. Мінусом цього методу є дуже концентрований соляний розчин. [1]

Ще одним методом опріснення є метод зворотного осмосу. У процесі зворотного осмосу вода та речовини, розчинені в ній, розділяються на молекулярному рівні. Очищення відбувається за допомогою мембрани яка утримує солі та різні домішки. Недоліком може бути мала кількість очищеної води. [1]

До цих методів ще відносять метод заморозки, де морську воду перетворюють в лід, без попадання розчинених в ній солей та метод електродіаліз, де вода проходить через камеру з електродами.[1]

В даній роботі розглядається технологічна схема опріснення води, що включає як зворотний осмос та випарювання. На схемі зображено еволюцію біттеру розсолу після зворотного осмосу (RO) за умов періодичного випарювання. Як показано на рисунку 1, процес починається з введення розсолу після RO з установки опріснення у систему. Цей розсіл проходить початкову фазу «попередньої концентрації», яка характеризується процесом випарного концентрування в випарному басейні. Протягом цієї фази, позначеної пунктирною оранжевою лінією, сонячне випарювання зменшує об'єм розчину до 1 л, що призводить до отримання висококонцентрованої суміші твердих та рідких речовин, яка називається «концентратом». [2]

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

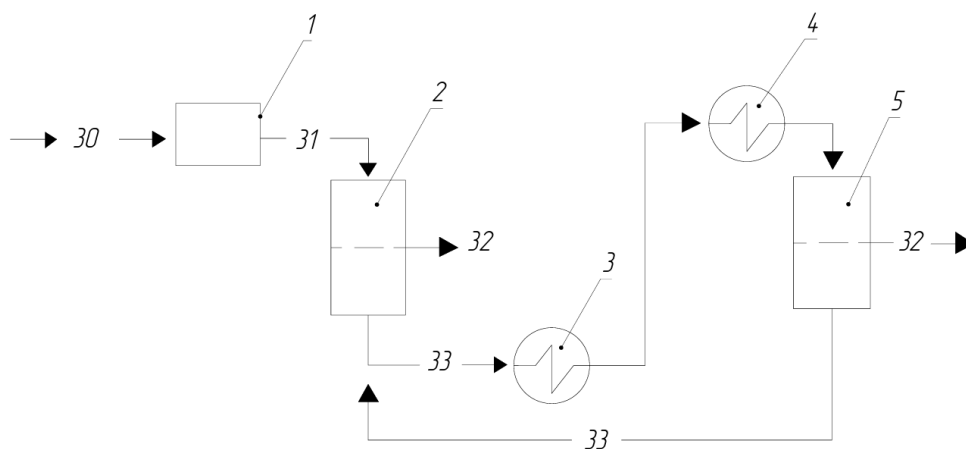


Рисунок 1.1 – Технологічна схема опріснення морської води

Згодом цей концентрат фільтрується через фільтр, у результаті чого отримують густий розчин під назвою «біттер» і суміш солей, зокрема карбонату кальцію, сульфату кальцію і хлориду натрію. «Біттер», який все ще містить розчинені солі, пропускають через «Нагрівач», щоб викликати подальше випаровування. Після нагрівання розчин залишається в спокої, поки його температура не стабілізується на рівні 20°C, після чого він потрапляє в охолоджувач. Ця частина процесу позначена синьою пунктирною лінією і представляє фазу періодичного випаровування. [2]

Випарний апарат є ключовим компонентом у процесі дистиляції води. Його завдання полягає у випаровуванні морської води, що призводить до поділу на пару та концентрат. Пара далі конденсується в прісну воду, а концентрат утилізується.

Модернізація випарного апарата може включати підвищення ефективності енергоспоживання, збільшення кількості виробленої прісної води або зменшення утворення концентрату. Це особливо важливо в умовах підвищення екологічних вимог та зростання потреб у прісній воді.

1.2 Вибір типу апарата і його місце в технологічній схемі

Оберемо випарний апарат з виносною циркуляційною трубою. Він має низку

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

переваг які роблять його оптимальним вибором для конкретної технологічної задачі. Завдяки конструкції з циркуляційною трубою забезпечується інтенсивний рух рідини, що підвищує коефіцієнт теплопередачі. Це дозволяє досягти більш рівномірного нагріву рідини та знижує ризик локального перегріву.[3]

Цей тип апарата добре працює з розчинами, що мають високий вміст солей, оскільки циркуляція дозволяє уникнути локальної кристалізації та засмічення труб. Завдяки використанню виносної циркуляційної труби енерговитрати на нагрівання знижуються, що робить цей апарат економічно вигідним. Апарат займає відносно менше місця у порівнянні з іншими типами випарників і можуть бути адаптовані до існуючої інфраструктури установок опріснення. [3]

Випарний апарат із виносною циркуляційною трубою інтегрується на стадії концентрації рідин, виконуючи функцію підготовки розчину до подальших етапів обробки. Завдяки своїм перевагам, випарний апарат із виносною циркуляційною трубою забезпечує стабільність і високу ефективність роботи установки опріснення, а також сприяє мінімізації енергетичних витрат і підвищенню якості утилізації концентрату. [3]

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 Технічна характеристика випарного апарату

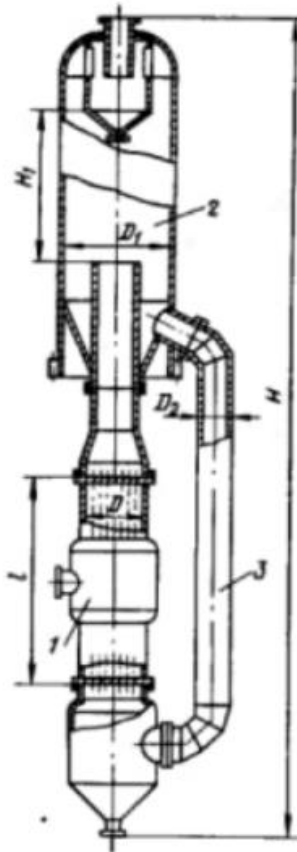
Внутрішній тиск, МПа	0,31;
зовнішній тиск, МПа	0,1;
початкова температура розчину, °C	60;
температура вторинної пари, °C	60,212;
температура гріючої пари, °C	112,1;
загальна площа теплообміну, м ²	100;
загальна кількість труб, шт	209;
внутрішній діаметр апарата, м	1,0;
внутрішній діаметр труб, м	0,034;
зовнішній діаметр труб, м	0,038;
довжина труб апарата, м	4;
товщина стінки сепаратора, м	0,010;
товщина стінки гріючої камери, м	0,006;

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 Опис обґрунтування вибраної конструкції апарата

3.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей апарата

Схема випарного апарату з виносною циркуляційною трубою наведена на рисунку 3.1.



1 – гріюча камера; 2 – сепаратор; 3 – циркуляційна труба;

Рисунок 3.1 – Схема випарного апарату [3]

Початковий розчин подається в систему через вхідний патрубок. Процес примусової циркуляції передбачає, що циркуляційний насос 4 примусово прокачує розчин по трубопроводу через циркуляційну трубу 3 до нагрівальної камери 1. У нагрівальну камеру 1 одночасно подається гріюча пара у міжтрубний простір. На більшій частині довжини кип'ятильних труб рідина зазнає лише незначного

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підвищення температури. Це пов'язано з тим, що у нижній частині труб тиск вищий ніж у верхній, що зумовлено гідростатичним тиском стовпа рідини та втратами на подолання гідравлічного опору. Через високий рівень заповнення труб рідиною основний об'єм циркуляційного контуру залишається у рідкій фазі, в той час, як частка вторинної пари в потоці є відносно малою. У зв'язку з цим циркуляційний насос має забезпечити прокачування значного об'єму рідини.

Потім суміш пари та рідкого концентрату з нагрівальної камери підіймається вгору та потрапляє у сепаратор 2.

У сепараторі відбувається розділення пари та рідини, вторинна пара відводиться через верхній патрубок, а сконцентрований розчин направляється в нижню частину сепаратора. Циркуляція триває до досягнення необхідної концентрації розчину.

3.2 Вибір матеріалів

Під час вибору матеріалів для виготовлення випарного апарату, потрібно враховувати такі фактори як температурний діапазон та тискові межі. За рекомендаціями було прийнято використовувати нержавіючу сталь 08X18H10T, яка забезпечує безпечну роботу в корозійних середовищах та при підвищених температурах, аж до +600°C та витримує тиск до 10 МПа. Згідно ГОСТ-5632, основу хімічного складу 08X18H10T формують три основні елементи - залізо приблизно 65%, хром 17-19% і нікель 9-11%, які і визначають основні експлуатаційно-технічні характеристики матеріалу. Легко піддається деформації, розвальцюванню, відбортунню, а також термічній та ріжучій обробці. Стійка до розтріскування.[4]

Для кріпильних елементів, таких як гайки, болти і шайби, було прийнято використовувати сталь 35. За рахунок підвищеного вмісту вуглецю сталь має покращену міцність та знижену пластичність. Низька ціна та технологічні якості роблять її універсальною для болтів і гайок.[5]

					ЛН11.06534.2.001 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Щодо фланців будемо використовувати сталь 09Г2С, вона зберігає свої механічні властивості при високих температурах від -70°C до +450°C та добре витримує ударну і статичну дію.[6]

Щоб забезпечити герметичність, будемо використовувати прокладки з пароніту. Він забезпечить достатню герметичність.

3.3 Порівняння основних показників розробленої конструкції з аналогами

Мета цього розділу – це порівняння вже існуючих випарних апаратів з розробленим випарним апаратом.

В таблиці 3.1 міститься порівняння різних типів випарних апаратів.

Таблиця 3.1 – Порівняння показників конструкцій

Основні технологічні показники	з виносною циркуляційною трубою	з виносною нагрівальною камерою	з висхідною плівкою	з подаючою плівкою	з природною циркуляцією
Продуктивність, бали (1-4)	3	3	4	4	2
Площа поверхні теплообміну, бали(1-4)	4	3	2	2	3
Стійкість до накипу, бали (1-4)	3	4	4	4	3
Габаритні розміри, бали (1-4)	4	3	2	2	4
Енергоспоживання, бали (1-4)	4	3	2	4	3
Σ	18	16	14	16	15

Після аналізу різних випарників, можна зробити вибір на користь випарного апарату з виносною циркуляційною трубою, тому що він найбільше відповідає нашим вимогам і забезпечить продуктивність, буде стійким до накипу та забезпечить низьке енергоспоживання.

Проте, щоб прийняти кінцеве рішення необхідно враховувати всі фактори, такі як особливості проєкту, місце застосування випарника та в яких умовах він буде використовуватись.

Висновки: Результати аналізу свідчать про те, що наш вибір доцільний серед всіх видів випарних апаратів.

3.4 Патентне дослідження

В цьому розділі проведемо порівняння патентів за останній рік. Патентний пошук було виконано відповідно до рекомендацій [7] Для аналізу було обрано патенти [8-12].

Документація до патентного дослідження наведено в Додатку А. Патенти, які використані в патентному дослідженні наведено в Додатку В.

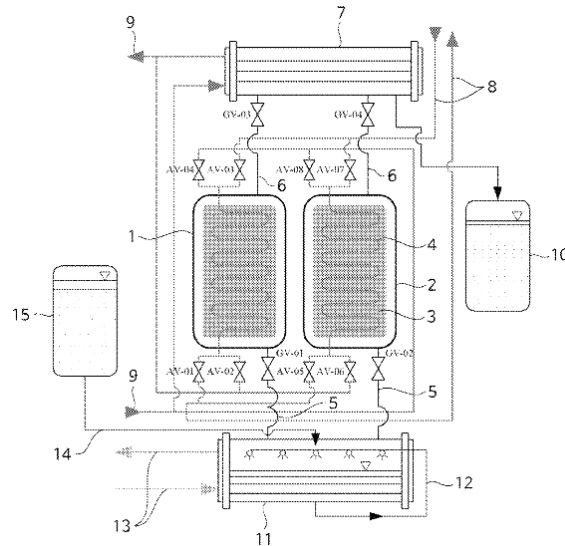
Предметом пошуку є випарні апарати.

У патенті на винахід [8] описано адсорбційну опріснювальну систему з використанням багатоефективного випарного апарату. Це система, яка відокремлює воду від морської води шляхом випаровування та відділення вологи від морської води через випарник, адсорбує пару на поверхні силікагелю в процесі адсорбції, десорбує пару з поверхні силікагелю в процесі десорбції, а потім конденсує десорбовану пару в рідкий стан шляхом подачі пар до конденсатора, таким чином збираючи прісну воду.

Система має багатофункціональний випарник, який виробляє та забезпечує пару високого тиску та пару низького тиску через перший блок випаровування та другий блок випаровування, які містять в собі безліч послідовних випарників та три шари адсорбції та десорбції, завдяки чому можна компенсувати коефіцієнт

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

продуктивності, максимально виробляти прісну воду та використовувати охолоджену воду, яка виробляється як побічний продукт у першому випарному блоку та другому випарному блоку, як воду для централізованого охолодження та охолодження житлових приміщень. Конфігурація системи наведена на рисунку 3.2



1 – десорбційний шар, 2 – адсорбційний шар, 3 – гідрофільний адсорбент, 4 – теплообмінна трубка, 5, 6 – паропроводи, 7 – конденсатор, 8 – гаряча вода, 9 – охолоджена вода, 10 – резервуар для зберігання прісної води, 11 – випарник, 12 – трубопровід для циркуляції, 13 – холодна вода, 14 – трубопровід для подачі морської води, 15 – резервуар для дегазації;

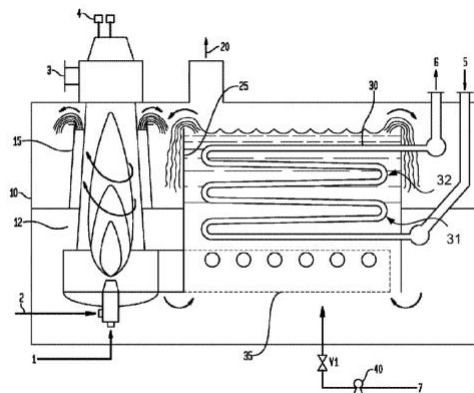
Рисунок 3.2– Конфігурація існуючої системи адсорбційного опріснення.

Випарний апарат, описаний у патенті, має ряд переваг, які виділяють його серед інших. Однією з ключових переваг є високий рівень контролю процесу випаровування. Завдяки вдосконаленій конструкції забезпечується точне регулювання температури, тиску та швидкості випаровування, що дозволяє отримувати матеріал зі стабільною якістю та заданими характеристиками. Крім того, апарат демонструє високу енергоефективність, що є важливим фактором для промислового застосування, оскільки це дозволяє зменшити витрати на енергію. Його універсальність робить можливим адаптацію конструкції для обробки різних типів

сировини, а використання корозійностійких матеріалів забезпечує довговічність обладнання. Ще однією перевагою є мінімізація втрат матеріалу завдяки ретельно продуманій системі уловлювання парів.

Однак є й певні недоліки, які варто врахувати. Серед них можна виділити високу вартість виробництва випарного апарата, зумовлену складністю його конструкції та використанням спеціалізованих матеріалів. Це може обмежувати його доступність для малих підприємств. Крім того, складність конструкції вимагає висококваліфікованого персоналу для обслуговування та ремонту, що може збільшити витрати. Ефективність апарата також залежить від якості вихідної сировини, що створює додаткові вимоги до вхідних матеріалів.

Патент [9] описує метод і пристрій для випаровування рідкого водню (рисунок 3.3), що включає використання каталізатора для сприяння перетворенню параводню в ортоводень.



1 – подача горючого газу; 2,3 – подача повітря для згоряння; 4 – газ; 5 – точка подачі; 6 – вивід; 7 – подача озону; 10 – резервуар для води; 12 – паликовий блок; 15 – охолоджувальна водяна сорочка; 20 – випускна труба; 25 – переливна перегородка; 30 – трубний пучок; 35 – резервуар для дегазації; 40 – компресор;

Рисунок 3.3 – Схематично ілюструє занурений випарник з горінням.

Метод передбачає контрольоване випаровування водню за допомогою каталізатора, що забезпечує ефективне використання тепла, яке виділяється під час

					ЛН11.06534.2.001 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перетворення пароводню в ортоводень. Винахід також включає пристрій, який оптимізує процес випаровування, забезпечуючи безпечне та ефективне використання водню.

Переваги цієї технології полягають у її енергоефективності, оскільки вона використовує тепло, що утворюється при перетворенні пароводню в ортоводень, для нагрівання та випаровування водню. Це дозволяє мінімізувати залежність від зовнішніх джерел енергії та створює контрольований процес, що підвищує загальну безпеку. Крім того, технологія легко інтегрується у різні промислові системи, забезпечуючи широкий спектр можливостей для зберігання, транспортування та використання водню. Ефективне використання ресурсів також сприяє зниженню негативного впливу на довкілля, що робить винахід перспективним з екологічної точки зору.

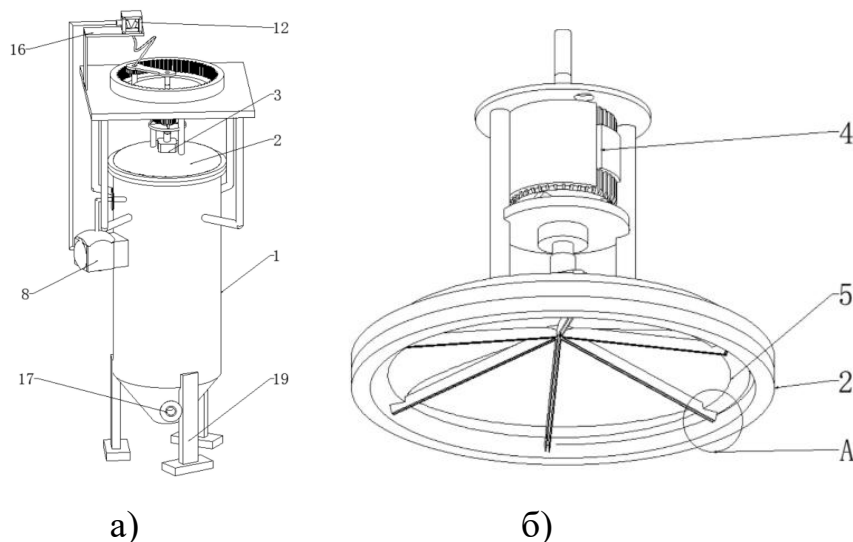
Серед недоліків варто зазначити технологічну складність впровадження. Реалізація такого рішення потребує спеціалізованого обладнання, високоточних інженерних рішень, а також значних фінансових витрат. Продукти згоряння, такі як оксиди азоту, можуть негативно впливати на довкілля, якщо їх не усунути. Це створює необхідність додаткових заходів для обробки води та запобігання корозії компонентів, що ускладнює підтримку системи в належному стані.

Дана корисна модель [10] стосується галузі випарників і спрямована на підвищення ефективності випаровування. Попередній рівень техніки стикався з такими проблемами як низька ефективність через конденсацію водяної пари на внутрішній поверхні кришки та складність очищення зовнішніх поверхонь випарника через накопичення пилу. З огляду на недоліки запропонована модель пропонує таке технічне рішення: вискоефективний випарник, що містить основний барабан, двонаправний двигун та водяний насос, де верхня кришка нерухомо встановлена на верхньому кінці основного барабана, вихідний кінець нижньої частини двонапрямого двигуна нерухомо з'єднаний з внутрішньою кришкою, внутрішня поверхня внутрішньої кришки нерухомо з'єднана зі стрижнем відведення води,

					ЛН11.06534.2.001 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сторона стрижня відведення води забезпечена каналом для накопичення води, внутрішня поверхня верхньої частини основного барабана нерухомо з'єднана з водяним кільцем, внутрішня поверхня водяного кільця нерухомо з'єднана з трубою витоку, нижній кінець труби витоку нерухомо з'єднаний з кільцевою трубою, внутрішня поверхня кільцевої труби нерухомо з'єднана з резервуаром для води, а резервуар для води нерухомо з'єднаний із зовнішньою поверхнею основного барабана.

У корисній моделі використовують двонапрямого двигуна для обертання внутрішньої кришки, що сприяє відведенню конденсату до водяного кільця та подальшому збиранню дистильованої води. Також використовують автоматизовану систему очищення за допомогою обертальних механізмів та водяного насоса, які забезпечують розпилення води на внутрішні поверхні випарника.



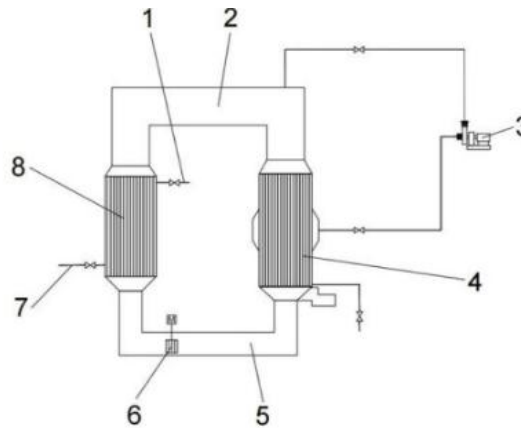
1 – головний циліндр; 2 – верхня кришка; 3 – ущільнювальний блок; 4 – двонапрямний двигун; 5 – внутрішня кришка; 8 – резервуар для води; 12 – водяний насос; 16 – рама під прямим кутом; 17 – вхідний отвір для води; 19 – штатив;
Рисунок 3.4 – а) схематичний вигляд збоку загальної конструкції корисної моделі; б) схема структури двонапрямого двигуна корисної моделі;

Перевагами моделі є її висока ефективність при обробці рідин, особливо в умовах високих температур або тисків. Конструкція забезпечує надійність у тривалому використанні та стійкість до зношування. Винахід відрізняється

універсальністю, оскільки може працювати з різними рідинами, враховуючи агресивні або в'язкі середовища.

Недоліками є висока вартість через використання дорогих матеріалів та складних механізмів. Також конструкція має значну вагу, що ускладнює транспортування і потребує регулярного обслуговування через зношування рухомих частин. Автоматизована система управління потребує постійного нагляду і контролю. У випадку несправності ремонт може бути складним і дорогим.

У патенті [11] винахід належить до технічної галузі випарників, зокрема концентраційно-кристалізаційного випарника, який використовує принципи випаровування та кристалізації для збільшення концентрації розчиненої речовини у розчині.

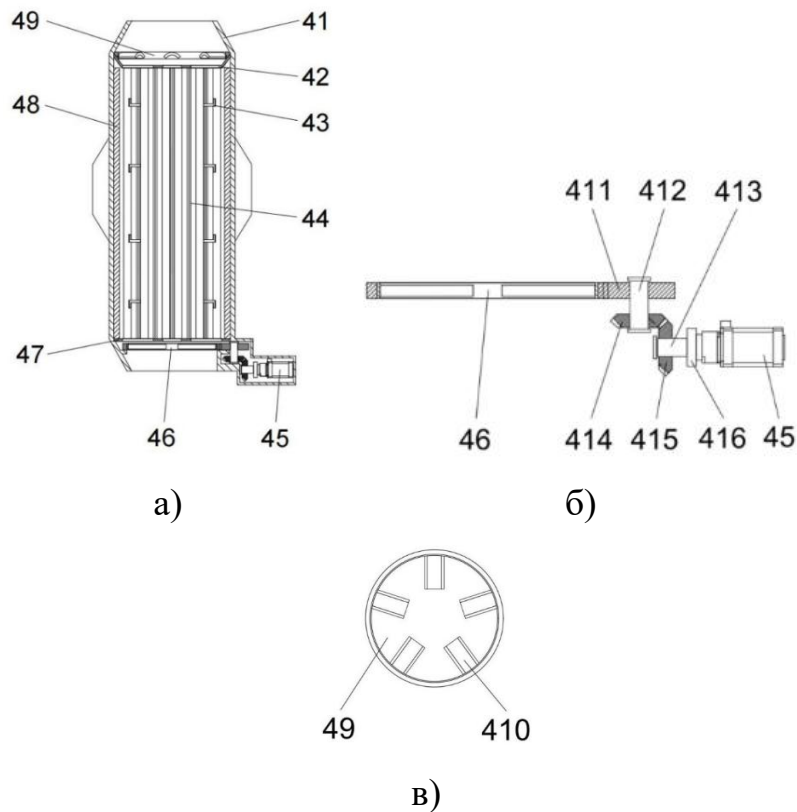


1 – вхід конденсату; 2 – верхній циркуляційний трубопровід; 3 – компресор; 4 – плівковий випарник; 5 – нижній циркуляційний трубопровід; 6 – мішалка з поршневим потоком; 7 – вихід конденсату; 8 – підігрівач подачі;

Рисунок 3.5 – Схематична діаграма загальної структури винаходу

Основні проблеми існуючих технологій містять в собі неефективне використання простору та об'єму обладнання, недостатня ефективність парообміну, велике споживання енергії циркуляції та теплової енергії. Винахід пропонує вирішення вищенаведених проблем шляхом збільшення площі контакту між рідиною та нагрівальними трубками, що сприяє більш ефективному теплообміну.

Перевагами моделі є використання z-подібних перегородок, які забезпечують підвищення пропускної здатності тракту пари, що покращує продуктивність системи. Використання системи попереднього підігрівання рідини значно скорочує витрати енергії. Також вагомую перевагою є інтеграція антиблокувального вузла, що запобігає засміченню.

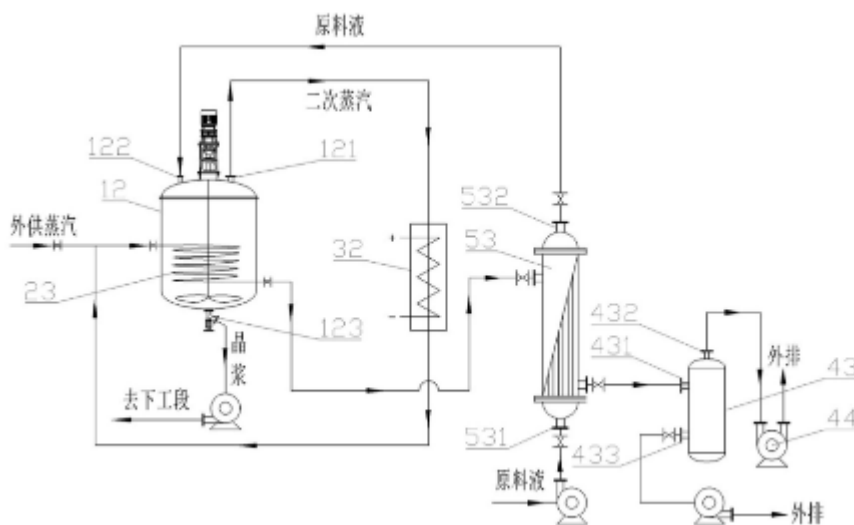


41 – випарна оболонка; 42 – верхня опорна плита; 43 – паропровідна дефлекторна заглушка; 44 – нагрівальні трубки; 45 – привідний двигун; 46 – обертова плита; 47 – нижня опорна плита; 48 – нагрівальний шар; 49 – лоток для розподілу води; 410 – дренажна деталь; 411 – ведуча шестерня; 412 – обертовий вал; 413 – ведучий вал; 414 – ведена конічна шестерня; 415 – активна конічна шестерня; 416 – фіксуючий блок двигуна;

Рисунок 3.6 – а) схематична діаграма структури паропровідного дефлектора; б) вид спереду у поперечному розрізі антиблокувального вузла; в) вигляд знизу лотка для розподілу води;

Недоліками пристрою є складність та великі витрати на виробництво, наприклад виготовлення шестигранних нагрівальних трубок і z-подібних перегородок, бо вони потребують спеціального обладнання. Також технічна складність полягає в багатокомпонентній системі, тому що потрібна додаткова підготовка персоналу, щоб якісно обслуговувати систему.

Корисна модель [12] призначена для ефективного та стабільного випаровування і концентрування розчинів шляхом повторного використання вторинної пари без компресорного стискання.



12 – кристалізатор; 23 – теплообмінна спіраль; 32 – електричний нагрівальний компонент; 43 – газо – рідинний сепаратор; 44 – вакуумний насос; 53 – кожухотрубний теплообмінник; 121 – вторинний вихід для пари; 122 – вхід для рідини; 123 – та вихід для рідини; 431 – вхідний отвір для газу та рідини; 432 – вихідний отвір для газу; 433 – вихідний отвір для рідини; 531 – вхід для попереднього нагрівання сирової рідини; 532 – вихід для попереднього нагрівання сирової рідини;

Рисунок 3.7 – Схематична діаграма структури

Рідина подається у випарну ємність, де під дією тепла частково випаровується, утворюючи вторинну пару. Ця пара прямує по трубопроводу до нагрівального пристрою, де підігрівається до необхідної температури. Нагріта пара надходить у

теплообмінник, де передає своє тепло рідині. Після цього пара конденсується і в газорідинному сепараторі відбувається розділення пари на рідку і газові фази. В цей час вакуумний насос підтримує знижений тиск у системі, що забезпечує безперервний рух пари та ефективну рециркуляцію тепла.

Переваги корисної моделі в тому, що вона забезпечує ефективне повторне використання тепла, що знижує енерговитрати. Використовуючи вторинну пару як джерело тепла відбувається утилізація енергії. Вакуумний насос підтримує стабільний режим випаровування, та дуже полегшує запуск і зупинку установки.

До недоліків можна віднести наявність вакуумної системи, тому що вона вимагає герметичності та регулярного обслуговування. Необхідно точно балансувати потоки пари та конденсату, щоб уникнути збоїв в теплообміні. При роботі з холодними вхідними потоками може знадобитися додаткове джерело тепла.

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 Охорона праці

Охорона праці - це система заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я, працездатності та життя працівників у процесів трудової діяльності. Основна мета не допустити травм і захворювань на робочому місці. Професійна діяльність пов'язана з ризиками, а охорона праці мінімізує ці ризики.

Система охорони праці це міждисциплінарна галузь що охоплює інженерію, медицину, екологію та право і містить в собі створення безпечних умов праці на підприємстві та запобігання виробничому травматизму та профзахворюванням. Сюди також входить забезпечення працівників засобами індивідуального захисту, дотримання санітарних норм і правил гігієни, навчання персоналу правилам безпеки і обов'язково надання медичної допомоги та профілактика нещасних випадків.

В Україні діє закон «Про охорону праці» [13], який вимагає, щоб кожен роботодавець забезпечував належні та безпечні умови праці. Недотримання цих правил це порушення закону і може мати юридичні наслідки. Темою дипломного проекту є «Модернізація випарного апарата установки опріснення морської води з утилізацією концентрату».

При роботі з випарним апаратом основними небезпечними та шкідливими факторами є:

- виробничий шум та вібрація;
- пожежна небезпека;
- електробезпека;
- освітлення;
- повітря робочої зони;

4.1 Виробничий шум і вібрація

Під час роботи установки опріснення морської води, основними джерелами

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виробничого шуму та вібрацій є:

- насосне обладнання;
- трубопроводи;
- електродвигуни;
- вентилятори;

Рівень шуму на робочих місцях становить 85-90 дБА, що перевищує гранично допустимий рівень у 80 дБА за ДСН 3.3.6.037-99 [14].

Рівень шуму зменшуємо за допомогою проведення наступних заходів:

- звукоізоляція насосів та двигунів обшивкою звукопоглинальними матеріалами;
 - глушники шуму на виходах вентиляцій, парових та повітряних трубопроводів;
 - обмеження часу перебування працівників у зоні підвищеного шуму;
- використання засобів індивідуального захисту – протишумові навушники, вкладиші;

Усунення шуму дуже важливий аспект, тому що тривала дія шуму негативно впливає на слуховий апарат, центральну нервову систему, серцево - судинну систему та на загальну продуктивність праці.

Рівень вібрації на робочому місці регламентується ДСН 3.3.6.039-99 де допустима віброшвидкість на тіло працівника $\leq 0,9$ мм/с. Щоб уникнути негативних наслідків таких як порушення кровообігу, головний біль, патологія суглобів, хребта і нервової системи, рекомендовані такі заходи по зменшенню вібраційного впливу:

- встановлення антивібраційних опор;
- регулярне обслуговування підшипників і з'єднань;
- заміна зношених деталей;
- звуко- і віброізолюючі перегородки;

4.2 Пожежна безпека

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В установці опріснення морської води основною речовиною, яка концентрується під час випаровування є натрій хлорид (NaCl). Це негорюча, хімічно стабільна речовина, вона не утворює вибухонебезпечних або легкозаймистих сумішей. Таким чином приміщення установки можна віднести до категорії Г за ДБН В.1.1-7:2016, як таке де присутні негорючі речовини у гарячому стані (пара, сіль, вода).

Проте, пожежні небезпеки можуть виникати через високотемпературне обладнання, мастила та ущільнювальні матеріали, деякі ізоляційні матеріали які можуть бути горючими, струми короткого замикання, несправність електрообладнання, порушення роботи установки.

Основні заходи пожежної безпеки складають:

- теплова ізоляція гарячих поверхонь для уникнення контактного займання;
- захист електромережі та автоматичні вимикачі при перевантаженні;
- використання негорючих матеріалів для ізоляції та кріплення;
- заземлення обладнання для зниження ризику електрозаймання;
- пожежні сигналізації;
- порошкові або вуглекислотні вогнегасники;

Основні ризики зосередженні навколо електротехнічного та теплотехнічного обладнання. При дотриманні технічних регламентів, системи пожежогасіння, заземлення та інструктажу персоналу – ризики пожежі мінімальні.

4.3 Електронебезпека

Електронебезпека один з ключових аспектів охорони праці, який повинен забезпечити захист персоналу від ураження електричним струмом, а також запобігання коротким замиканням, іскрінню, пожежам та зупинкам технологічного процесу. Оскільки говоримо про випарний апарат, де міститься значна кількість

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

енергообладнання: освітлювальні прилади та кабельні лінії, датчики, системи керування. Тому є велика небезпека ураження електричним струмом:

- старіння ізоляції;
- випадкове доторкання до частин установки, які під напругою;
- можливе випадкове вмикання апарата;

Установка працює з вологим середовищем та з використанням металевих корпусів, що створює умови підвищеної небезпеки відповідно до правил улаштування електроустановок (ПУЕ) [15].

Тому для забезпечення безпеки потрібно:

- заземлити все електрообладнання згідно з нормами ПУЕ;
- використання автоматів для відключення установки при витoku струму;
- ізоляція всіх відкритих струмопровідних частин;
- проведення інструктажу з електробезпеки;
- наявність захисного взуття, гумових килимків та інструментів з ізоляцією;

Забезпечення системного підходу до електробезпеки забезпечить надійну і безпечну експлуатацію.

4.4 Освітлення

Ще одним важливим пунктом є освітлення. Від правильного освітлення залежить якість і точність виконання робіт, комфорт зору, профілактика травматизму, а також пожежна безпека.

Загальне освітлення в машинному залі повинно бути 200-300 лк, зони з точним обслуговуванням має бути 300-500 лк, та аварійне освітлення має бути не менше 1 лк за ДБН В.2.5-28:2018.

Робоче освітлення обов'язково має містити:

- світильники з ступенем захисту не менше IP54, а в зоні з парою і вологістю IP65;

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- енергоефективні LED – світильники з тривалим ресурсом;
- локальні світильники в зонах обслуговування вузлів;

Аварійне освітлення:

- світильники повинні бути з автономним живленням мінімум на 1 годину;
- освітлені схеми евакуації;
- позначення евакуаційних виходів з світловими покажчиками «Вихід»;

Заходи безпеки під час обслуговування освітлення мають відбуватися тільки при знеструмленні лінії. Заборонено використовувати лампи з тріщинами або без захисного скла. Потрібно перевіряти надійність кріплень світильників, цілісність корпусу, відсутність перегріву та іскріння, контролювати електроконтакти.

Освітлення має забезпечувати безпечні умови праці, відповідати нормам, враховувати вологість та наявність високих температур. Відповідальне ставлення до аварійного, робочого та локального освітлення гарантує надійність роботи та безпеку персоналу.

4.5 Повітря робочої зони

Якість повітря напряму впливає на здоров'я працівників. На робочому місці не повинно бути шкідливих газів, пилу або високої температури.

Випарний апарат характеризується підвищеною температурою та вологістю. Речовина NaCl не токсична, але викликає подразнення за ДСН 3.3.6.042-99, тому гранично допустима концентрація до 10 мг/м^3 [16].

Щоб нормалізувати повітря робочої зони можна використати вентиляцію для забезпечення притоку свіжого повітря і видалення теплого або вологого повітря. Для стабільної температури у приміщенні можна використати кондиціонери та осушувачі повітря для роботи в вологому кліматі. Важливим є встановлення термодатчиків, які подають сигнал при перевищенні норми.

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

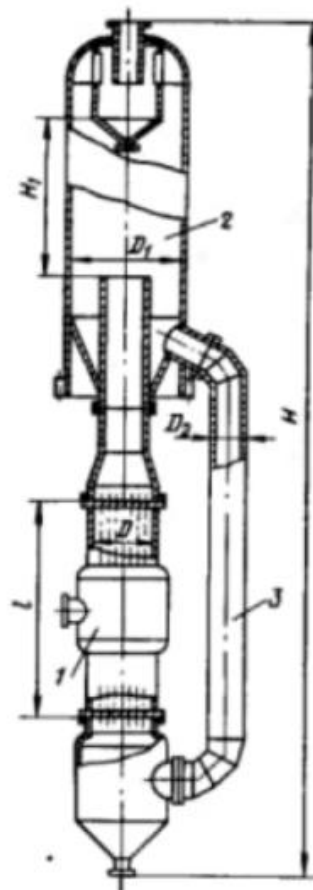
У більшості сучасних установок температура повітря робочої зони коливається від 25 до 30 °С при відносній вологості 60-80%, це обов'язково вимагає вентиляційної підтримки для забезпечення мікроклімату.

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій

5.1 Параметричний розрахунок

Метою розрахунку є визначення площі поверхні теплообміну, а також основних розмірів (діаметр кожуха і довжина труб гріючої камери) випарного апарата з продуктивністю по сировині $G_{\text{п}} = 2.5$ кг/с водного розчину хлориду натрію від початкової концентрації $x_{\text{п}} = 3\%$ до кінцевої $x_{\text{к}} = 25\%$. На рисунку 5.1 зображена розрахункова схема.



1 – гріюча камера; 2 – сепаратор; 3 – циркуляційна труба;

Рисунок 5.1 – Схема випарного апарату [3]

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛН11.065342.001 ПЗ

Арк.

35

Вихідні дані до розрахунку:

Початкова температура розчину t_1 , °C;	60;
Продуктивність по сировині, кг/с	2,5;
Тиск гріючої пари $p_{г.п}$, МПа	0,157;
Тиск у барометричному конденсаторі $p_{б.к}$, МПа	0,0196;
Початкова концентрація розчинених речовин в сировині $x_{п}$, %	3;
Кінцева концентрація розчинених речовин в сировині $x_{к}$, %	25;

Розрахунок виконано за методикою [17].

Матеріальний баланс. Витрата вторинної пари визначається за формулою:

$$W = G_{п} \cdot \left(1 - \frac{x_{п}}{x_{к}}\right) = 2,5 \cdot \left(1 - \frac{3}{25}\right) = 2,2 \text{ кг/с.}$$

Витрата упареного розчину:

$$G_{к} = G_{п} - W = 2,5 - 2,2 = 0,3 \text{ кг/с.}$$

Визначення корисної різниці температур. Температура вторинної пари, що надходить з випарного апарату у барометричний конденсатор при $p_{б.к} = 0,0196$ МПа, дорівнює $t_{б.к} = 59,2^\circ\text{C}$.

Гідравлічну депресію примаємо з огляду на практичні рекомендації $\Delta''' = 1^\circ\text{C}$.

Тоді температура вторинної пари у випарному апараті становить:

$$t'_{п} = t_{б.к} + \Delta''' = 59,2 + 1 = 60,2^\circ\text{C}.$$

При цій температурі тиск буде дорівнювати $p_{п}' = 0,021$ МПа, а питома теплота пароутворення $r = 2,357 \cdot 10^6$ кДж/кг.

Для того щоб визначити параметри випарного апарату, потрібно визначити орієнтовну площу поверхні теплообміну випарного апарату $F_{ор}$. Приймаємо $q = 30000$ Вт/м². Тоді:

$$F_{ор} = W \cdot \frac{r}{q_1} = 2,2 \cdot \frac{2,357 \cdot 10^6}{30000} = 172,828 \text{ м}^2.$$

					ЛН11.06534.2.001 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За ГОСТ 11987–81 приймаємо випарний апарат з такими характеристиками: поверхня теплообміну $F = 100 \text{ м}^2$; довжина труб $L = 4 \text{ м}$; діаметр труб $38 \times 2 \text{ мм}$; матеріал труб – 08Х18Н10Т.

Орієнтовна температура кипіння:

$$tk_{op} = t'_n + 45 = 60,2 + 45 = 105,2^\circ\text{C}.$$

Оптимальна висота кипіння розчину в трубах:

$$h_{op} = (0,26 + 0,0014 \cdot (\rho_p - \rho_v)) \cdot H = (0,26 + 0,0014 \cdot (1177 - 954)) \cdot 4 = 2,291 \text{ м},$$

де $\rho_p = 1177 \text{ кг/м}^3$ та $\rho_v = 954 \text{ кг/м}^3$ густина розчину та води відповідно за $105,2^\circ\text{C}$.

Приріст тиску в середньому шарі розчину:

$$\Delta\rho_r = \rho_p \cdot g \cdot \frac{h_{op}}{2} = 1177 \cdot 9,81 \cdot \frac{2,291}{2} = 0,0132 \text{ МПа}.$$

Тому, тиск в середньому шарі кип'ятильних труб:

$$\rho_{ст} = p_{п'} + \Delta\rho_r = 0,021 + 0,0132 = 0,034 \text{ МПа}.$$

Температура кипіння води в середньому шарі кип'ятильних труб при цьому тиску буде дорівнювати $t_{кc} = 71,2^\circ\text{C}$ та теплота пароутворення $r = 2,33 \cdot 10^6 \text{ кДж/кг}$.

Тому, гідростатична депресія:

$$\Delta'' = t_{кc} - t'_n = 71,2 - 60,2 = 5,974^\circ\text{C}.$$

Температурна депресія визначається за формулою:

$$\Delta' = 16,2 \cdot \frac{(273 + t_{кc})^2 \cdot \Delta_{атм}}{r} = 16,2 \cdot (273 + 71,2)^2 \cdot \frac{7,25}{2,33 \cdot 10^6} = 5,974^\circ\text{C},$$

де $\Delta_{атм} = 7,25^\circ\text{C}$ – температурна депресія 25% розчину при атмосферному тиску.

Температура кипіння розчину:

$$t_k = t_{б.к} + \Delta' + \Delta'' + \Delta''' = 59,2 + 5,974 + 5,974 + 1 = 77,2^\circ\text{C}.$$

Корисна різниця температур:

$$\Delta t_{кор} = t_{гп} - t_k = 112,1 - 77,2 = 34,88^\circ\text{C},$$

					ЛН11.06534.2.001 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $t_{гп} = 112,1^{\circ}\text{C}$ – температура гріючої пари при тиску $p_{г.п} = 0,157 \text{ МПа}$.

Тепловий баланс.

Витрата гріючої пари:

$$G_{г.п.} = \frac{1,05 \cdot (W \cdot i_{вп} + G_{к} \cdot c_{к} \cdot t_p - G_{п} \cdot c_p \cdot t_1)}{r_{г.п.}}$$
$$= \frac{1,05 \cdot (2,2 \cdot 2,608 \cdot 10^6 + 0,3 \cdot 3,858 \cdot 10^3 \cdot 77,2 - 2,5 \cdot 4,1 \cdot 10^3 \cdot 60)}{2,228 \cdot 10^6}$$
$$= 2,455 \text{ кг/с},$$

де $i_{вп} = 2608 \text{ кДж/кг}$ – ентальпія вторинної пари; $c_p = 4100 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ – питома теплоємність розчину; $c_{к} = 3858 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ – питома теплоємність упареного розчину; $r_{г.п.} = 2228 \text{ кДж/кг}$ – питома теплота пароутворення води при $p_{г.п} = 0,157 \text{ МПа}$.

Кількість переданої теплоти:

$$Q = G_{г.п.} \cdot r_{г.п.} = 2,455 \cdot 2,228 \cdot 10^6 = 5,472 \cdot 10^6 \text{ Вт.}$$

Розрахунок коефіцієнта теплопередачі.

Кількість труб гріючої камери визначається за формулою:

$$n = \frac{F}{\pi \cdot d \cdot L} = \frac{100}{3,14 \cdot 0,038 \cdot 4} = 209.$$

Щільність стікання конденсату по зовнішній поверхні труб визначається за формулою:

$$\Gamma = \frac{G_{г.п.}}{n \cdot \pi \cdot d} = \frac{2,455}{209 \cdot 3,14 \cdot 0,038} = 0,098 \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}}.$$

Приведена товщина плівки:

$$\delta_{пл} = \left(\frac{\mu_2^2}{\rho_2^2 \cdot g} \right)^{0,33} = \left(\frac{(2,525 \cdot 10^{-4})^2}{948,9^2 \cdot 9,81} \right)^{0,33} = 2,154 \cdot 10^{-5} \text{ м},$$

де $\mu_2 = 2,525 \cdot 10^{-4} \text{ Па}\cdot\text{с}$ – динамічний коефіцієнт в'язкості води за температури $t_{гп} = 112,1^{\circ}\text{C}$; $\rho_2 = 948,9 \text{ кг/м}^3$ – щільність води при температурі конденсації $t_{гп} = 112,1^{\circ}\text{C}$;

Критерій $Re_{пл}$ для плівки конденсату визначається за формулою:

$$Re_{пл} = \frac{4 \cdot \Gamma}{\mu_2} = \frac{4 \cdot 0,098}{2,525 \cdot 10^{-4}} = 1599.$$

Критерій Прандтля:

$$Pr = \frac{c_2 \cdot \mu_2}{\lambda_2} = \frac{4,257 \cdot 10^3 \cdot 2,525 \cdot 10^{-4}}{0,683} = 1,575,$$

де $c_2 = 4,257 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К); $\lambda_2 = 0,683$ Вт/(м·К);

Так як $Re_{пл} > 400$, тоді значення $Nu_{пл}$ визначаємо за формулою:

$$Nu_{пл} = \frac{Re_{пл}}{\left(\frac{6,25 \cdot (Re_{пл} - 400)}{Pr^{0,33}} \right) + 1580} = \frac{1599}{\left(\frac{6,25 \cdot (1599 - 400)}{1,575^{0,33}} \right) + 1580} = 0,199.$$

Коефіцієнт теплопередачі α_1 від водяної пари, що конденсується, до стінок труб:

$$\alpha_1 = Nu_{пл} \cdot \frac{0,685}{\delta_{пл}} = 0,206 \cdot \frac{0,685}{0,214 \cdot 10^{-4}} = 6593,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Коефіцієнт теплопередачі α_2 від стінки до киплячого розчину визначаємо у середньому шарі розчину.

Константи розчину за температури кипіння: $\rho_1 = 1186 \text{ кг}/\text{м}^3$;

$\mu_1 = 1,643 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$; $\lambda_1 = 0,507 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; $c_1 = 3,858 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;
 $\sigma_1 = 0,079 \text{ Н}/\text{м}$.

Властивості водяної пари при $p = 0,034 \text{ МПа}$: $r_1 = 2,33 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{кг}$; $p_{п} = 0,21 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Щільність водяної пари при $p = 0,1 \text{ МПа}$, $\rho_0 = 0,579 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Отже,

$$\begin{aligned} B &= \frac{780 \cdot \lambda_1^{1,3} \cdot \rho_1^{0,5} \cdot \rho_{п}^{0,06}}{\sigma_1^{0,5} \cdot r_1^{0,6} \cdot \rho_0^{0,66} \cdot c_1^{0,3} \cdot \mu_1^{0,3}} \\ &= \frac{780 \cdot 0,507^{1,3} \cdot 1186^{0,5} \cdot 0,21^{0,06}}{0,079^{0,5} \cdot 2,33 \cdot 10^{6 \cdot 0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3,858 \cdot 10^{3 \cdot 0,3} \cdot 1,643 \cdot 10^{-3 \cdot 0,3}} \\ &= 4,48 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}). \end{aligned}$$

					ЛН11.06534.2.001 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Значення теплового потоку було знайдено за допомогою програми Mathcad (рисунок 5.2). Звідси приймаємо, що значення теплового потоку становить $q = 6,086 \text{ Вт/м}^2$.

$$\lambda := 17.5 \quad q = 3 \times 10^4 \quad \delta := 0.002$$

Given

$$\frac{q}{\Delta t_{\text{kor}}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{B \cdot q^{0.6}}}$$

$$q := \text{Find}(q) = 6.086 \times 10^4$$

Рисунок 5.2 – Визначення густини теплового потоку в Mathcad

Необхідна площа поверхні теплообміну:

$$F_r = \frac{Q}{q} = \frac{5,472 \cdot 10^6}{6,086 \cdot 10^4} = 89,905 \text{ м}^2.$$

Запас поверхні теплообміну:

$$\varepsilon = \frac{(F - F_r)}{F} \cdot 100 = \frac{(100 - 89,905)}{100} \cdot 100 = 10,095 \text{ \%}.$$

За ГОСТ 11987–81 обрали випарний апарат з такими характеристиками: поверхня теплообміну $F = 100 \text{ м}^2$; довжина труб $L = 4 \text{ м}$; діаметр труб $38 \times 2 \text{ мм}$; матеріал труб – 08X18H10T.

5.2 Конструктивний розрахунок

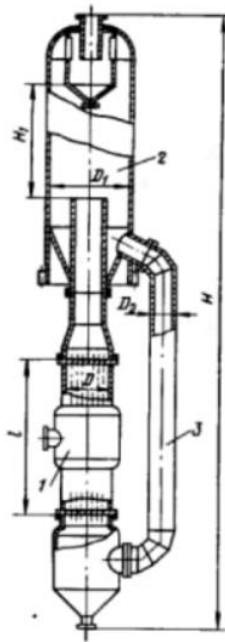
Мета конструктивного розрахунку полягає у визначенні основних геометричних розмірів апарата.

Вихідні дані до розрахунку:

Площа поверхні теплообміну $F, \text{ м}^2$ 100;

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висота труб l , м	4;
Внутрішній діаметр труб d_v , м	0,034;
Зовнішній діаметр труб d_z , м	0,038;
Кількість труб n , шт	209;
Витрати вторинної пари W , кг/с	2,2;
Кут між трубами α , Рад	1,047;
Крок між трубами t , м	0,048;
Коефіцієнт використання трубної решітки ψ	0,75;
Допустиме напруження парового простору при атмосферному тиску W_{1a} ,	0,287;
Коефіцієнт f_1	0,85;
Коефіцієнт f_2	1;
Діаметр краплини d_k , м	$0,5 \cdot 10^{-3}$;
Тиск вторинної пари p_{vp} , МПа	0,021;
Розрахунок проводимо за методикою [17]	



1 – гріюча камера; 2 – сепаратор; 3 – циркуляційна труба;

Рисунок 5.3 – Схема випарного апарату [3]

Температура пари при тиску $p_{vp} = 0,021$ МПа становить $t_p = 60,6^\circ\text{C}$.

Внутрішній діаметр грійної камери:

$$D_k = \sqrt{\frac{4 \cdot n \cdot t^2 \sin \alpha}{\pi \cdot \psi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 209 \cdot 0,048^2 \cdot \sin(1,047)}{3,14 \cdot 0,75}} = 0,841 \text{ м.}$$

Приймаємо $D_k = 1$ м.

Діаметр циркуляційної труби:

$$D_t = \sqrt{0,6 \cdot d_v^2 \cdot n} = \sqrt{0,6 \cdot 0,034^2 \cdot 209} = 0,381 \text{ м.}$$

Приймаємо $D_t = 0,4$ м.

Діаметр напруження парового простору:

$$W_1 = W_{1a} \cdot f_1 \cdot f_2 = 0,278 \cdot 0,85 \cdot 1 = 0,236 \text{ м.}$$

Об'єм парового простору:

$$V_c = \frac{W}{W_1} = \frac{2,2}{0,236} = 4,312 \text{ м}^3.$$

Діаметр сепаратора приймається рівним, або більшим за діаметр грійної камери, але в межах визначених стандартів.

Приймаємо $D_c = 2,2$ м.

Швидкість пари в паровому просторі:

Густина водяної пари, за умови тиску $p_{vp} = 0,021$ МПа, становить $\rho_p = 0,134$ кг/м³.

$$w_p = \frac{4 \cdot W}{\pi \cdot \rho_p \cdot D_c^2} = \frac{4 \cdot 2,2}{3,14 \cdot 0,134 \cdot 2,2^2} = 4,312 \text{ м/с.}$$

Критерій Рейнольдса:

$$R_e = \frac{w_p \cdot d_k \cdot \rho_p}{\mu_p} = \frac{4,312 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,134}{1,052 \cdot 10^{-5}} = 27,496 ,$$

де $\mu_p = 1,052 \cdot 10^{-5}$ Па·с – коефіцієнт динамічної в'язкості водяної пари за температури $t_p = 60,6^\circ\text{C}$

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт опору:

Якщо $0,2 \leq Re \leq 500$:

$$\xi = \frac{18,5}{Re^{0,6}},$$

Якщо $500 \leq Re \leq 15 \cdot 10^4$:

$$\xi = 0,44,$$

Оскільки $Re \geq 0,2$ і ≤ 500 , то коефіцієнт опору розраховується як:

$$\xi = \frac{18,5}{Re^{0,6}} = \frac{18,5}{27,496^{0,6}} = 2,533.$$

Швидкість витікання краплини:

$$w_v = \sqrt{\frac{4 \cdot g(\rho_r - \rho_p) \cdot d_k}{3 \cdot \xi \cdot \rho_p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,81(982,67 - 0,134) \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 2,533 \cdot 0,134}} = 4,347 \text{ м/с},$$

де густина води дорівнює $\rho_r = 982,67 \text{ кг/м}^3$ при температурі $t_p = 60,6^\circ\text{C}$.

Проводимо перевірку умови:

$$w_p < w_v = 4,312 < 4,347.$$

Умова виконується. Швидкість витікання краплини більша за швидкість пари.

Висоту сепаратора розраховуємо за формулою:

$$H_c = \frac{4 \cdot v_c}{\pi \cdot D_c^2} = \frac{4 \cdot 4,312}{3,14 \cdot 2,2^2} = 2,451 \text{ м.}$$

Приймаємо $H_c = 2,5 \text{ м}$.

5.3 Розрахунок допоміжного обладнання

Метою розрахунку полягає в знаходженні параметрів барометричного конденсатора.

Вихідні дані до розрахунку:

Витрати вторинної пари W , кг/с 2,2;

Тиск в барометричному конденсаторі $p_{б,к}$, МПа 0,0196;

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Початкова температура охолоджуючої води t_1 , °C	12;
Теплоємність води c_w , Дж/(кг · К)	4190;
Температура пари t_p , °C	59,2;
Густина пари ρ_p , кг/м ³	0,126;
Ентальпія пари i_p , кДж/кг	$2,606 \cdot 10^6$;
Густина води ρ_{w1} , кг/м ³	985,6;
В'язкість води μ_{w1} , Па·с	$5,24 \cdot 10^{-4}$;

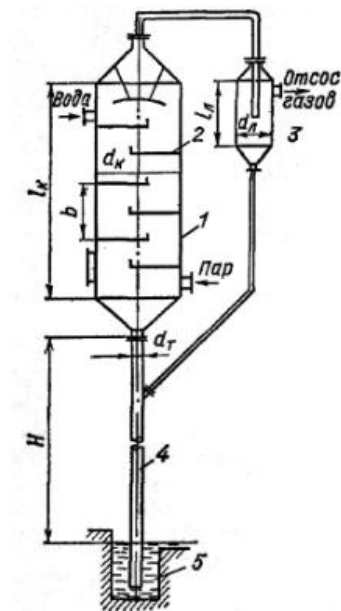


Рисунок 5.4 – Схема барометричного конденсатора

Розрахунок виконано за методикою [17]

Температура конденсату:

$$t_k = t_p - 5 = 59,2 - 5 = 54,2^\circ\text{C}.$$

Витрати охолоджуючої рідини знаходимо за формулою:

$$G_k = W \cdot \frac{i_p - c_w \cdot t_k}{c_w \cdot (t_k - t_1)} = 2,2 \cdot \frac{2,606 \cdot 10^{-6} - 4190 \cdot 54,2}{4190 \cdot (54,2 - 12)} = 29,591 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Обираємо швидкість пари $w_p = 25$ м/с.

Діаметр конденсатора:

$$D_{bk} = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{\pi \cdot \rho_p \cdot w_p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,2}{3,14 \cdot 0,126 \cdot 25}} = 0,943 \text{ м.}$$

Приймаємо $D_{bk} = 1 \text{ м.}$

Діаметр барометричної труби:

$$d_{bt} = (d_t - 2 \cdot S_t) \cdot 10^{-3} = (219 - 2 \cdot 6) \cdot 10^{-3} = 0,207 \text{ м,}$$

де $d_t = 219 \text{ мм}$ – діаметр труби, $S_t = 6 \text{ мм}$ – товщина стінки.

Швидкість стікання конденсату в барометричній трубі:

$$w_k = \frac{4 \cdot (W + G_k)}{\pi \cdot d_{bt}^2 \cdot \rho_{w1}} = \frac{4 \cdot (2,2 + 29,591)}{3,14 \cdot 0,207^2 \cdot 985,6} = 0,958 \text{ м/с.}$$

Критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{w_p \cdot d_{bt} \cdot \rho_{w1}}{\mu_{w1}} = \frac{25 \cdot 0,207 \cdot 985,6}{5,24 \cdot 10^{-4}} = 9,734 \cdot 10^6.$$

Абсолютну шорсткість для нових сталевих труб приймаємо $\Delta = 0,1 \cdot 10^{-3}$.

Тоді, відносна шорсткість розраховується за формулою:

$$e = \frac{\Delta}{d_{bt}} = \frac{0,1 \cdot 10^{-3}}{0,207} = 4,831 \cdot 10^{-4}.$$

Коефіцієнт місцевого опору визначаємо за формулою:

$$Re > \frac{560}{e} = 9,734 \cdot 10^6 > 1,159 \cdot 10^6,$$

$$\lambda = 0,11 \cdot e^{0,25} = 0,11 \cdot (4,831 \cdot 10^{-4})^{0,25} = 0,016.$$

Розрідження в барометричному конденсаторі:

$$p_b = (0,1 - p_{б.к}) \cdot 10^6 = (0,1 - 0,0196) \cdot 10^6 = 8,04 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

Коефіцієнти місцевого опору приймаємо:

$$\xi_1 = 1 \quad \xi_2 = 0,5.$$

Довжина барометричних труб визначена за допомогою програми Mathcad (рисунок 5.5).

$$H_{bt} := 1 \quad +$$

Given

$$H_{bt} = \frac{P_b}{\rho_{w1} \cdot g} + \left(1 + \xi_1 + \xi_2 + \lambda \cdot \frac{H_{bt}}{d_{bt}} \right) \cdot \frac{w_k^2}{2 \cdot g} + 0.5$$

$$H_{bt} := \text{Find}(H_{bt}) = 8.966$$

Рисунок 5.5 – Визначення довжини барометричних труб в Mathcad

За розрахунком приймаємо довжину труб $H_{bt} = 9$ м.

Кількість відкачуваного повітря:

$$G_{rov} = 0,000025 \cdot (W + G_k) + 0,01 \cdot W = 0,000025 \cdot (2,2 + 29,591) + 0,01 \cdot 2,2 \\ = 0,023 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Температура повітря:

$$T_{pv} = 273 + t_1 + 4 + 0,1 \cdot (t_k - t_1) = 273 + 12 + 4 + 0,1 \cdot (54,2 - 12) = 293,2 \text{ К}.$$

Об'єм відкачуваного повітря:

$$V_{rov} = \frac{287 \cdot T_{pv} \cdot G_{rov}}{p_b} = \frac{287 \cdot 293,2 \cdot 0,023}{8,04 \cdot 10^4} = 0,024 \text{ м}^3.$$

5.4 Розрахунок штуцерів

Метою розрахунку є – визначення розмірів штуцерів.

Розрахункова схема штуцера зображена на рисунку 5.6.

Вихідні дані до розрахунку:

Витрата розділюваного розчину G_p , кг/с	2,5;
Витрата упареного розчину G_k , кг/с	0,3;
Витрата вторинної пари W , кг/с	2,2;

Витрата гріючої пари $G_{г.п}$, кг/с	2,455;
Температура розділюваного розчину t_1 , °C	60;
Температура упареного розчину t_k , °C	77,218;
Температура вторинної пари t_{vp} , °C	60,212;
Температура гріючої пари $t_{г.п}$, °C	112,1;
Концентрація розділюваного розчину $x_{п}$, %	3;
Концентрація упареного розчину x_k , %	25;
Густина розділюваного розчину ρ_p , кг/м ³	$1,02 \cdot 10^3$;
Густина упареного розчину ρ_k , кг/м ³	$1,186 \cdot 10^3$;
Густина вторинної пари ρ_{vp} , кг/м ³	0,132;
Густина гріючої пари $\rho_{г.п}$, кг/м ³	0,882;
Густина конденсату ρ_{kt} , кг/м ³	984,9;

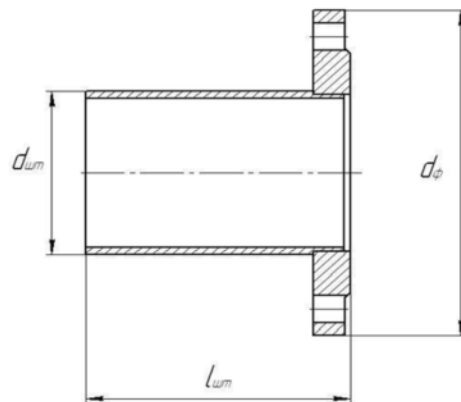


Рисунок 5.6 – Розрахункова схема штуцера

Розрахунок виконано за методикою [17].

Знайдемо діаметри штуцерів.

Для входу розділюваного розчину:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_p}{\pi \cdot \rho_p \cdot \omega_p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,5}{3,14 \cdot 1,02 \cdot 10^3 \cdot 1}} = 0,056 \text{ м,}$$

де ω_p - рекомендована швидкість розчину, $\omega_p = 1$ м/с;

Для виходу упареного розчину:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_k}{\pi \cdot \rho_k \cdot \omega_p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,3}{3,14 \cdot 1,186 \cdot 10^3 \cdot 1}} = 0,018 \text{ м.}$$

Для виходу вторинної пари:

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{\pi \cdot \rho_{vp} \cdot \omega_{\Pi}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,2}{3,14 \cdot 0,132 \cdot 25}} = 0,922 \text{ м,}$$

де ω_{Π} - рекомендована швидкість для пари, $\omega_{\Pi} = 25 \text{ м/с}$;

Для входу гріючої пари:

$$d_4 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{г.п.}}{\pi \cdot \rho_{г.п} \cdot \omega_{\Pi}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,455}{3,14 \cdot 0,882 \cdot 25}} = 0,376 \text{ м,}$$

де ω_{Π} - рекомендована швидкість пари, $\omega_{\Pi} = 25 \text{ м/с}$;

Для виходу конденсату:

$$d_5 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{г.п.}}{\pi \cdot \rho_k \cdot \omega_p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,455}{3,14 \cdot 984,9 \cdot 1}} = 0,057 \text{ м,}$$

де ω_p - рекомендована швидкість для рідини, $\omega_p = 1 \text{ м/с}$;

Обрані значення:

Для входу розділюваного розчину:

$$d_1 = (57 - 2 \cdot 3) \cdot 10^{-3} = 0,051.$$

Для виходу упареного розчину:

$$d_2 = (25 - 2 \cdot 3) \cdot 10^{-3} = 0,019.$$

Для виходу вторинної пари:

$$d_3 = 1.$$

Для входу пари:

$$d_4 = (426 - 2 \cdot 10) \cdot 10^{-3} = 0,406.$$

Для виходу конденсату:

$$d_5 = (57 - 2 \cdot 3) \cdot 10^{-3} = 0,051.$$

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дійсні швидкості в штуцерах.

Для входу розділюваного розчину:

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_p}{\pi \cdot \rho_p \cdot d_1^2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,5}{3,14 \cdot 1,02 \cdot 10^3 \cdot 0,056^2}} = 1,095 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Для виходу упареного розчину:

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_k}{\pi \cdot \rho_k \cdot d_2^2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,3}{3,14 \cdot 1,186 \cdot 10^3 \cdot 0,018^2}} = 0,945 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Для виходу вторинної пари:

$$\omega_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{\pi \cdot \rho_{vp} \cdot d_3^2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,2}{3,14 \cdot 0,132 \cdot 0,922^2}} = 4,612 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Для входу гріючої пари:

$$\omega_4 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{г.п.}}{\pi \cdot \rho_{г.п.} \cdot d_4^2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,455}{3,14 \cdot 0,882 \cdot 0,376^2}} = 4,636 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Для виходу конденсату:

$$\omega_5 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{г.п.}}{\pi \cdot \rho_k \cdot d_5^2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,455}{3,14 \cdot 984,9 \cdot 0,057^2}} = 1,125 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Висновок: розрахували і прийняли стандартні розміри штуцерів для входу і виходу розчину та пари, виходу конденсату, також було розраховано дійсні швидкості руху в штуцерах.

5.5 Розрахунок обичайки під внутрішнім тиском для гріючої камери

Мета розрахунку визначити товщину стінки обичайки та перевірка умови міцності. Схема розрахунку зображена на рисунку 5.7.

Вихідні данні до розрахунку:

Внутрішній тиск p , МПа

0,31;

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Діаметр гріючої камери D , м

1;

Температура гріючої пари t , °C

112,1;

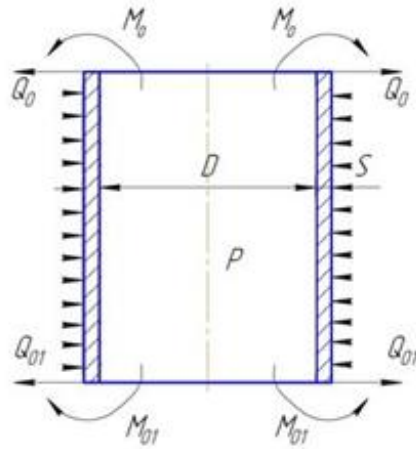


Рисунок 5.7 – Схема розрахунку обичайки під дією зовнішнього тиску

Розрахунок виконано за методикою [18].

Визначаємо за [18] допустиме напруження матеріалу днища для сталі 08X18H10T за розрахункової температури $t = 112,1^\circ\text{C}$.

$$[\sigma] = 154 \text{ МПа.}$$

Визначаємо розрахунковий коефіцієнт міцності зварного шва за [18]. В нашому випадку для стикового шва з підварюванням кореня, що виконується вручну, коли довжина контрольованих зварних швів становить 100 % від загальної довжини $\varphi_p = 1$.

Розрахункова товщина стінки циліндричної обичайки:

$$S_R = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} = \frac{0,31 \cdot 1}{2 \cdot 154 \cdot 1 - 0,31} = 1,02 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Приймаємо додаток до розрахункової товщини для компенсації ерозії $C_e = 0$ м.

Виконавчу товщину стінки циліндричної обичайки у першому наближенні знаходимо за формулою:

$$S^1 = S_R + C_1 + C_0 = 1,02 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-3} + 0,8 \cdot 10^{-4} = 3,1 \cdot 10^{-3} \text{ м,}$$

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $C_1 = 2 \cdot 10^{-3}$ – додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії і ерозії, додаток $C_0 = 0,8 \cdot 10^{-4}$ обрано конструктивно.

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску визначається за [18] $C_2 = 2,1 \cdot 10^{-4}$ м.

Технологічний додаток до розрахункової товщини приймаємо $C_3 = 0$ м.

Розраховуємо відношення суми додатків C_2 і C_3 до товщини S^1 :

$$\frac{C_2 + C_3}{S^1} = \frac{2,1 \cdot 10^{-3}}{3,1 \cdot 10^{-3}} = 0,07.$$

Сума додатків до розрахункової товщини визначається в залежності від величини відношення суми додатків C_2 і C_3 до товщини S^1 :

Якщо $\frac{C_2 + C_3}{S_1} \leq 0,05$, то $C = C_1$,

Якщо $\frac{C_2 + C_3}{S_1} > 0,05$, то $C = C_1 + C_2 + C_3$,

Так-як $\frac{C_2 + C_3}{S_1} = 0,07 \geq 0,05$, то C визначаємо за формулою:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 2 \cdot 10^{-3} + 2,1 \cdot 10^{-4} = 2,21 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки:

$$S = S_R + C + C_0 = 1,02 \cdot 10^{-3} + 2,21 \cdot 10^{-4} + 2,77 \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м,}$$

де $C_0 = 2,77 \cdot 10^{-3}$ м обрано конструктивно.

Перераховуємо додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску C_2 :

Приймаємо $C_2 = 2,5 \cdot 10^{-4}$ м.

Знаходимо відношення суми C_2 і C_3 до розрахункової товщини S :

$$\frac{C_2 + C_3}{S} = \frac{2,5 \cdot 10^{-4}}{6 \cdot 10^{-3}} = 0,04.$$

Виконуємо перерахунок суми додатків до розрахункової товщини:

Якщо $\frac{C_2 + C_3}{S_1} \leq 0,05$, то $C = C_1$,

Якщо $\frac{C_2 + C_3}{S_1} > 0,05$, то $C = C_1 + C_2 + C_3$,

Так-як $\frac{C_2+C_3}{S_1} = 0,04 \leq 0,05$, то C визначаємо за формулою:

$$C = C_1 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Перевірка умов застосування розрахункових формул:

$$\frac{S - C}{D} \leq 0,1,$$

$$\frac{6 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3}}{1} = 4 \cdot 10^{-3} \leq 0,1.$$

Допустимий внутрішній надлишковий тиск $[p]$:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_P \cdot (S - C)}{D + S - C} = \frac{2 \cdot 154 \cdot 1 \cdot (6 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3})}{1 + 6 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3}} = 1,227 \text{ МПа.}$$

Перевірка умови міцності:

$$p \leq [p],$$

$$0,31 \text{ МПа} \leq 1,227 \text{ МПа.}$$

Умова міцності виконується.

5.6 Розрахунок обичайки для сепаратора під дією зовнішнього тиску

Мета розрахунку полягає в тому щоб визначити товщину стінки обичайки та перевірити умови міцності.

Схема розрахунку обичайки наведена на рисунку 5.8

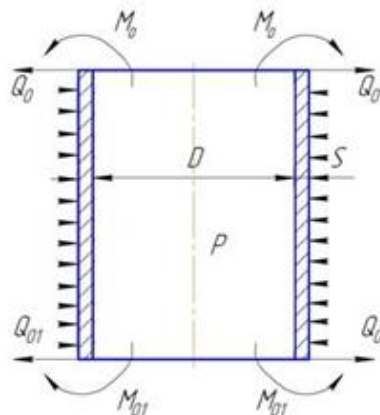


Рисунок 5.8 – Схема розрахунку обичайки під дією зовнішнього тиску

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вихідні дані до розрахунку:

Зовнішній тиск ρ_3 , МПа 0,1;

Діаметр сепаратора D , м 2,2;

Температура гріючої пари t , °C 112,1;

Розрахунок виконано за методикою [18].

За [18] знаходимо допустиме напруження для матеріалу 08X18H10T за температури $t = 112,1$ °C:

$$[\sigma] = 154 \text{ МПа.}$$

Модуль пружності в умовах розтягу визначаємо за [18] для марки сталі 08X18H10T за розрахункової температури $t = 112,1$ °C.

$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт запасу стійкості для робочих умов:

$$n_y = 2,4.$$

Коефіцієнт k_1 :

$$k_1 = \frac{n_y \cdot \rho_3}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot E} = \frac{2,4 \cdot 0,1}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,5.$$

Розрахункова довжина елемента, що примикає до циліндричної обичайки:

$$l_3 = \frac{D}{6 \cdot \tan \alpha_k} = \frac{2,2}{6 \cdot \tan 45^\circ} = 0,367 \text{ м.}$$

Розрахункова довжина обичайки:

$$l = l_1 + l_2 + l_3 = 1,8 + 0 + 0,367 = 2,167 \text{ м.}$$

Коефіцієнт k_3 :

$$k_3 = \frac{l}{D} = \frac{2,167}{2,2} = 0,985.$$

Коефіцієнт k_2 визначається за номограмою з [18] залежно від коефіцієнтів k_1 і k_3 :

$$k_2 = 0,34.$$

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункова товщина стінки циліндричної обичайки:

$$S_R = \max(k_2 \cdot D \cdot 10^{-2}; \frac{1,1 \cdot p \cdot D}{2 \cdot [\sigma]}) = \max(0,34 \cdot 2,2 \cdot 10^{-2}; \frac{1,1 \cdot 0,1 \cdot 2,2}{2 \cdot 154}) \\ = 7,48 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки у першому наближенні:

$$S = S_R + C + C_0 = 7,48 \cdot 10^{-3} + 1 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-3} = 0,01 \text{ м,}$$

Де $C_0 = 2 \cdot 10^{-3}$ м обрано конструктивно.

Допустимий зовнішній тиск з умов міцності:

$$[p]_{\sigma} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S - C)}{D + S - C} = \frac{2 \cdot 154 \cdot (0,01 - 10^{-3})}{2,2 + 0,01 - 10^{-3}} = 1,255 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт B_1

$$B_1 = \min \left(1; 9,45 \cdot \frac{D}{l} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (S - C)}} \right) \\ = \min \left(1; 9,45 \cdot \frac{2,2}{2,167} \cdot \sqrt{\frac{2,2}{100 \cdot (0,01 - 10^{-3})}} \right) = 1.$$

Допустимий зовнішній тиск з умов стійкості в границях пружності:

$$[p]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot E \cdot D}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{l} \cdot \left(\frac{100 \cdot (S - C)}{D} \right)^{2,5} \\ = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5}{2,4 \cdot 1} \cdot \frac{2,2}{2,167} \cdot \left(\frac{100 \cdot (0,011 - 10^{-3})}{2,2} \right)^{2,5} = 0,188 \text{ МПа.}$$

Допустимий зовнішній тиск:

$$[p] = \frac{[p]_{\sigma}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_{\sigma}}{[p]_E} \right)^2}} = \frac{1,255}{\sqrt{1 + \left(\frac{1,255}{0,188} \right)^2}} = 0,186 \text{ МПа.}$$

Перевірка умови стійкості:

$$\rho_3 \leq [p],$$

$$0,1 \text{ МПа} \leq 0,186 \text{ МПа.}$$

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки: умова стійкості виконується, тому обрані параметри обичайки обрані правильно.

5.7 Розрахунок еліптичного днища для сепаратора з умови міцності під зовнішнім тиском

Мета розрахунку – визначення товщини днища та перевірка виконання умови міцності.

Вихідні дані:

Зовнішній тиск ρ_3 , МПа	0,1;
Внутрішній діаметр апарату D , м	2,2;
Розрахункова температура t , °C	112,1;

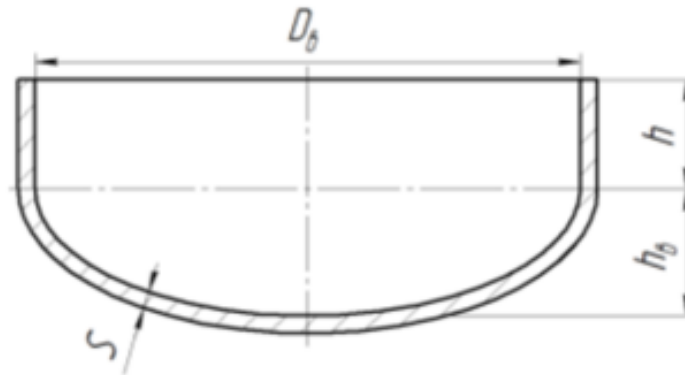


Рисунок 5.9 - Схема до розрахунку еліптичної кришки

Розрахунок ведемо за методикою [19]

Розрахунок проводиться під стандартне еліптичне днище з висотою:

$$h_b = 0,25 \cdot D = 0,25 \cdot 2,2 = 0,55 \text{ м.}$$

Розрахуємо внутрішній радіус кривизни у вершині днища:

$$R_e = \frac{D^2}{4 \cdot h_b} = \frac{2,2^2}{4 \cdot 0,55} = 2,2 \text{ м.}$$

Для попереднього розрахунку радіус кривизни еліптичного днища приймають:

$$K_E = 0,9.$$

Допустиме напруження матеріалу днища для сталі 08X18H10T за розрахункової температури $t = 112,1^{\circ}\text{C}$ з [18].

$$[\sigma] = 154 \text{ МПа.}$$

Значення модуля пружності під част розтягу для сталі 08X18H10T за розрахункової температури $t = 112,1^{\circ}\text{C}$ з [18].

$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Розрахункова товщина днища розраховується за формулою:

$$\begin{aligned} S_R &= \max \left(\frac{K_E \cdot R_e}{161} \cdot \sqrt{\frac{n_y \cdot \rho_3}{10^{-5} \cdot E}}; 0,6 \cdot \frac{\rho_3 \cdot R_e}{[\sigma]} \right) \\ &= \max \left(\frac{0,9 \cdot 2,2}{161} \cdot \sqrt{\frac{2,4 \cdot 0,1}{10^{-5} \cdot 2 \cdot 10^5}}; 0,6 \cdot \frac{0,1 \cdot 2,2}{154} \right) \\ &= \max(4,26 \cdot 10^{-3}; 8,571 \cdot 10^{-4}) = 4,26 \cdot 10^{-3} \text{ м.} \end{aligned}$$

Виконавча товщина днища:

$$S = S_R + C + C_0 = 4,26 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-3} + 7,4 \cdot 10^{-4} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ м,}$$

де $C = 2 \cdot 10^{-3}$ – додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії і ерозії, додаток $C_0 = 7,4 \cdot 10^{-4}$ обрано конструктивно.

Визначимо допустимий зовнішній тиск з умови міцності:

$$[\rho_H]_{\sigma} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S - C)}{R_e + 0,5 \cdot (S - C)} = \frac{2 \cdot 154 \cdot (7 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3})}{2,2 + 0,5 \cdot (7 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3})} = 0,699 \text{ МПа.}$$

Уточнений коефіцієнт K_E :

$$K_E = \frac{1 + (2,4 + 8 \cdot x) \cdot x}{1 + (3 + 10 \cdot x) \cdot x} = \frac{1 + (2,4 + 8 \cdot 0,034) \cdot 0,034}{1 + (3 + 10 \cdot 0,034) \cdot 0,034} = 0,98,$$

де x розраховується за формулою:

$$\begin{aligned} x &= 10 \cdot \frac{S - C}{D} \cdot \left(\frac{D}{2 \cdot H} - \frac{2 \cdot H}{D} \right) = 10 \cdot \frac{7 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3}}{2,2} \cdot \left(\frac{2,2}{2 \cdot 0,55} - \frac{2 \cdot 0,55}{2,2} \right) \\ &= 0,034. \end{aligned}$$

Тепер знайдемо допустимий зовнішній тиск з умови стійкості в границях пружності:

$$[\rho_H]_E = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot \left[\frac{100 \cdot (S - C)}{K_E \cdot R_e} \right]^2 = 0,117 \text{ МПа.}$$

Допустимий зовнішній тиск з урахуванням умов міцності і стійкості:

$$[\rho_H] = \frac{[\rho_H]_\sigma}{\sqrt{1 + \left(\frac{[\rho_H]_\sigma}{[\rho_H]_E} \right)^2}} = \frac{0,699}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,699}{0,117} \right)^2}} = 0,115 \text{ МПа.}$$

Умова стійкості:

$$\rho_3 \leq [\rho_H],$$

$$0,1 \text{ МПа} \leq 0,115 \text{ МПа.}$$

Висновки: розрахували товщину еліптичного днища та перевірили умову на виконання, міцність забезпечена.

5.8 Розрахунок конічного днища для гріючої камери при внутрішньому тиску

Мета розрахунку – визначення товщини днища та перевірка виконання умови міцності.

Схема до розрахунку конічної кришки наведенна на рисунку 5.10

Вихідні дані:

Внутрішній тиск ρ , МПа	0,31;
Внутрішній діаметр апарату D , м	1;
Розрахункова температура t , °С	112,1;
Половина кута при вершині конічного днища α_k , град.	30;

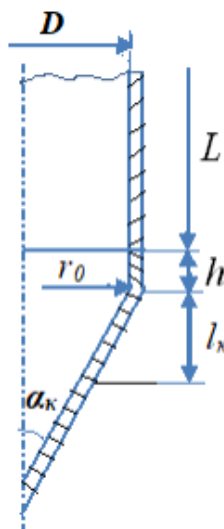


Рисунок 5.10 - Схема до розрахунку конічної кришки

Вихідні дані:

Внутрішній тиск ρ , МПа	0,31;
Внутрішній діаметр апарату D , м	1;
Розрахункова температура t , °С	112,1;
Половина кута при вершині конічного днища α_k , град.	30;

Розрахунок ведемо за методикою [18].

Допустиме напруження матеріалу днища для сталі 08X18H10T за розрахункової температури $t = 112,1^\circ\text{C}$ з [18].

$$[\sigma] = 154 \text{ МПа.}$$

Визначаємо розрахунковий коефіцієнт міцності зварного шва за [18]. В нашому випадку для стикового шва з підварюванням кореня, що виконується вручну, коли довжина контрольованих зварних швів становить 100 % від загальної довжини $\varphi_p = 1$.

Розрахункова товщина стінки днища розраховується за формулою:

$$S_{KR} = \frac{\rho \cdot D}{2 \cdot \sigma \cdot \varphi_p - \rho} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_k} = \frac{0,31 \cdot 1}{2 \cdot 154 \cdot 1 - 0,31} \cdot \frac{1}{\cos 30^\circ} = 1,178 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток до розрахункової товщини для компенсації ерозії приймаємо $C_e = 0$ м.

Виконавча товщина в першому наближенні:

$$S_k^1 = S_{kR} + C_1 + C_0 = 1,178 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-3} + 8,22 \cdot 10^{-4} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м,}$$

де $C_1 = 2 \cdot 10^{-3}$ м – додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії і ерозії, додаток $C_0 = 8,22 \cdot 10^{-4}$ м обрано конструктивно.

Додаток $C_2 = 2,3 \cdot 10^{-4}$ м обирається за [18].

Технологічний додаток до розрахункової товщини приймаємо $C_3 = 0$ м.

Знаходимо відношення суми C_2 і C_3 до розрахункової товщини S :

$$\frac{C_2 + C_3}{S_k^1} = \frac{2,3 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot 10^{-3}} = 0,058.$$

Розраховуємо суму додатків до розрахункової товщини:

$$\text{Якщо } \frac{C_2 + C_3}{S_k^1} \leq 0,05, \text{ то } C = C_1,$$

$$\text{Якщо } \frac{C_2 + C_3}{S_k^1} > 0,05, \text{ то } C = C_1 + C_2 + C_3,$$

$$\text{Так-як } \frac{C_2 + C_3}{S_k^1} = 0,058 > 0,05, \text{ то } C \text{ визначаємо за формулою:}$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 2 \cdot 10^{-3} + 2,3 \cdot 10^{-4} + 0 = 2,23 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

$$S_k = S_{kR} + C + C_0 = 1,178 \cdot 10^{-3} + 2,23 \cdot 10^{-3} + 2,592 \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м,}$$

де додаток $C_0 = 2,592 \cdot 10^{-3}$ обрано конструктивно.

Перевіряємо умову застосування розрахункових формул:

$$0,001 \leq \frac{S_k \cdot \cos \alpha_k}{D} \leq 0,05,$$

$$0,001 \leq 0,0052 \leq 0,05.$$

Умова виконується.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S_k - C)}{\frac{D}{\cos \alpha_k} \cdot (S_k - C)} = \frac{2 \cdot 154 \cdot 1 \cdot (6 \cdot 10^{-3} - 2,23 \cdot 10^{-3})}{\frac{1}{\cos 30^\circ} \cdot (6 \cdot 10^{-3} - 2,23 \cdot 10^{-3})} = 1.002 \text{ МПа.}$$

					ЛН11.06534.2.001 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірка умови міцності:

$$\rho \leq [p],$$

$$0,31 \text{ МПа} \leq 1,002 \text{ МПа}.$$

Умова міцності виконується.

5.9 Розрахунок фланцевого з'єднання

Метою розрахунку є – вибір та розрахунок фланців на перевірку герметичності та забезпечення з'єднання корпусу апарата з розподільною камерою.

На рисунку 5.9 зображена фланцевого з'єднання.

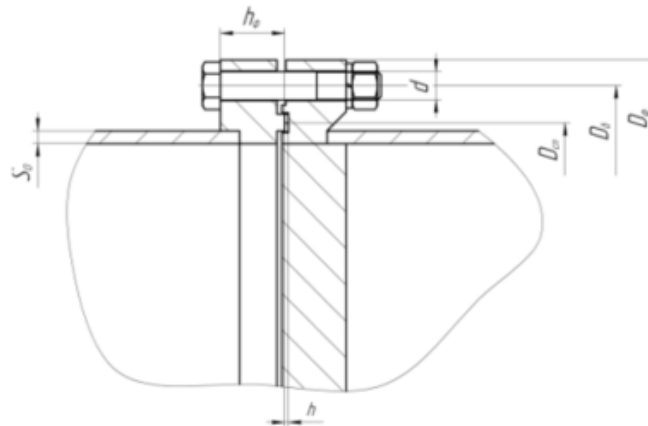


Рисунок 5.11 – Схема фланцевого з'єднання

Розрахунок та вибір стандартних фланців проводимо за методикою [20]

Вихідні дані:

Внутрішній діаметр D , м	1;
зовнішній діаметр D_n , м	1,13;
діаметр кола розташування болтів D_6 , м	1,105;
товщина фланця h , м	0,040;
товщина втулки фланця S_0 , м	0,018;
ширина прокладки b_n , м	0,013;
середній діаметр прокладки D_{cp} , м	1,0575;
товщина прокладки h_n , м	0,003;

					ЛН11.06534.2.001 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кількість болтів n , шт	36;
діаметр болта d , м	0,023;
розрахункова температура t , °C	112,1;
внутрішній тиск p , МПа	0,31;

Знайдемо розрахункові температури фланця, вони визначаються за [20].

Для плоского неізолюваного фланця:

$$t_{\phi} = 0,96 \cdot t = 0,96 \cdot 112,1 = 107,616 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$t_{\phi} = 0,95 \cdot t = 0,95 \cdot 112,1 = 106,495 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

При ширині прокладки $b_n \leq 15$ мм ефективна ширина прокладки $b_o = b_n$.

Питомий тиск обтискання прокладки визначається за [20].

Для терморозширеного графітового матеріалу (типу 'Графлекс') без обтюлятора.

$$q_{\text{обт}} = 4.$$

Зусилля яке необхідне для деформування прокладки при затягуванні фланця:

$$P_{\text{обт}} = 0,5 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_o \cdot q_{\text{обт}} = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 1,0575 \cdot 0,013 \cdot 4 = 0,086 \text{ м}.$$

Коефіцієнт прокладки визначається за [20].

$$m = 2,5.$$

Зусилля на прокладку в робочих умовах, яке необхідне для забезпечення герметичності:

$$R_n = \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_o \cdot m \cdot |p| = 3,14 \cdot 1,0575 \cdot 0,013 \cdot 2,5 \cdot 0,31 = 0,033 \text{ МН}.$$

Площа поперечного перерізу для болтів без проточки з діаметром $d = 23$ мм:

$$f_6 = 3,03 \cdot 10^{-4}.$$

Сумарна площа перерізу болтів по внутрішньому діаметру різьблення або напруженому перерізу найменшого діаметра:

$$A_6 = n \cdot f_6 = 36 \cdot 3,03 \cdot 10^{-4} = 0,011 \text{ м}^2.$$

Рівнодіюче навантаження від тиску:

$$Q_D = \frac{\pi \cdot D_{\text{сп}}^2}{4} \cdot p = \frac{3,14 \cdot 1,0575^2}{4} \cdot 0,31 = 0,272 \text{ МН}.$$

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт обтиснення прокладки для терморозширеного графітового матеріалу (типу ‘Графлекс’) без обтюратора $K_{обж} = 1$.

Умовний модуль стиснення для терморозширеного графітового матеріалу (типу ‘Графлекс’) без обтюратора $E_n = 0,02$ МПа.

Податливість прокладки:

$$y_n = \frac{h_n \cdot K_{обж}}{\pi \cdot E_n \cdot D_{сп} \cdot b_o} = \frac{0,003 \cdot 1}{3,14 \cdot 0,02 \cdot 1,0575 \cdot 0,013} = 3,473 \frac{\text{м}}{\text{МН}}.$$

Відстань між опорними поверхнями гайки і головки болта або опорними поверхнями гайок для плоских фланців:

$$L_{60} = 2 \cdot h + h_n = 2 \cdot 0,040 + 0,003 = 0,084 \text{ м.}$$

Ефективна довжина болта:

$$L_6 = L_{60} + 0,28 \cdot d = 0,084 + 0,28 \cdot 0,023 = 0,089 \text{ м.}$$

Визначаємо за [20] модуль повздовжньої пружності в умовах розтягу матеріалу болта при 20С:

$$E_{620} = 2,13 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Визначаємо за [20] модуль повздовжньої пружності в умовах розтягу матеріалу болта за розрахункової температури:

$$E_6 = 2,09 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Податливість болтів:

$$y_6 = \frac{L_6}{E_{620} \cdot f_6 \cdot n} = \frac{0,089}{2,13 \cdot 10^5 \cdot 3,03 \cdot 10^{-4} \cdot 36} = 3,85 \cdot 10^{-5} \text{ м/МН.}$$

Розрахунковий коефіцієнт для фланцевих з'єднань з привареними в стик плоскими фланцями:

$$\beta_V = 0,55.$$

Визначаємо за [20] модуль повздовжньої пружності в умовах розтягу матеріалу фланця при температурі 20 С:

$$E_{20} = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Модуль повздовжньої пружності в умовах розтягу матеріалу фланця за розрахункової температури визначаємо за [20]:

$$E = 1,9 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Параметр довжини втулки:

$$l_0 = \sqrt{D \cdot S_0} = \sqrt{1 \cdot 0,018} = 0,134 \text{ м.}$$

Співвідношення розмірів тарілки фланця:

$$K = \frac{D_n}{D} = \frac{1,13}{1} = 1,13.$$

Коефіцієнт β_T :

$$\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = \frac{1,13^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 1,13) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot 1,13^2) \cdot (1,13 - 1)} = 2,485.$$

Коефіцієнт β_U :

$$\beta_U = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K) - 1}{1,36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = \frac{1,13^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 1,13) - 1}{1,36 \cdot (1,13^2 - 1) \cdot (1,13 - 1)} = 23,314.$$

Коефіцієнт для фланцевих з'єднань визначаємо за [20]:

$$\beta_F = 0,91.$$

Коефіцієнт λ :

$$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_U \cdot h}{\beta_U \cdot l_0 \cdot S_0^2} = \frac{0,91 \cdot 0,040 + 0,134}{2,485 \cdot 0,134} + \frac{0,55 \cdot 0,040}{23,314 \cdot 0,134 \cdot 0,018^2} = 0,546.$$

Кутова податливість фланця при затяжці:

$$y_\phi = \frac{0,91 \cdot \beta_U}{E_{20} \cdot \lambda \cdot S_0^2 \cdot l_0} = \frac{0,91 \cdot 0,55}{1,99 \cdot 10^5 \cdot 0,546 \cdot 0,018^2 \cdot 0,134} = 0,106 \frac{1}{\text{мм} \cdot \text{м}}.$$

Плечі дії сил у болтах:

$$b = 0,5 \cdot (D_{\bar{o}} - D_{cn}) = 0,5 \cdot (1,105 - 1,0575) = 0,024 \text{ м.}$$

Еквівалентна товщина конічної втулки фланця:

$$S_{\mathcal{D}} = S_0 = 0,018 \text{ м.}$$

Плече зусилля від дії тиску на фланець:

$$e = 0,5 \cdot (D_{cn} - D - S_{\mathcal{D}}) = 0,5 \cdot (1,0575 - 1 - 0,018) = 0,02 \text{ м.}$$

					ЛН11.06534.2.001 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Жорсткість фланцевого з'єднання:

$$\gamma = \frac{1}{y_n + y_{\phi} \cdot \frac{E_{\phi 20}}{E_{\phi}} + \left(y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E} + y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E} \right) \cdot b^2} =$$

$$= \frac{1}{3,473 + 3,85 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{2,13 \cdot 10^5}{2,09 \cdot 10^5} + \left(0,106 \cdot \frac{1,99 \cdot 10^5}{1,9 \cdot 10^5} + 0,106 \cdot \frac{1,99 \cdot 10^5}{1,9 \cdot 10^5} \right) \cdot 0,024^2} = 0,288 \text{ МН/м.}$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання, яке навантажене внутрішнім тиском або зовнішньою осьюовою силою:

$$\alpha = 1 - \frac{y_n - (y_{\phi} \cdot e + y_{\phi} \cdot e) \cdot b}{y_n + y_{\phi} + (y_{\phi} + y_{\phi}) \cdot b^2} =$$

$$= 1 - \frac{3,473 - (0,106 \cdot 0,02 + 0,106 \cdot 0,02) \cdot 0,024}{3,473 + 4,737 \cdot 10^{-4} + (0,106 + 0,106) \cdot 0,024^2} =$$

$$= 7,408 \cdot 10^{-5}.$$

Визначаємо за [20] температурні коефіцієнти лінійного розширення матеріалів болта, фланця та шайби:

$$\alpha_{\phi} = 11,9 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^{\circ}\text{C},$$

$$\alpha_{\phi} = 12,2 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^{\circ}\text{C},$$

$$\alpha_{ш} = 11,9 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^{\circ}\text{C}.$$

Також за [20] визначаємо товщину шайби:

$$h_{ш} = 0,003 \text{ м.}$$

Навантаження, яке викликане обмеженістю температурних деформацій, МН:

$$Q_t = \gamma \cdot [(\alpha_{\phi} \cdot h + \alpha_{ш} \cdot h_{ш}) \cdot (t_{\phi} - 20) + (\alpha_{\phi} \cdot h + \alpha_{ш} \cdot h_{ш}) \cdot (t_{\phi} - 20) - \alpha_{\phi} \cdot (h + h) \cdot (t_{\phi} - 20)] =$$

$$= 0,288 \cdot [(12,2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,040 + 11,9 \cdot 10^{-6} \cdot 0,003) \cdot (107,616 - 20) + (12,2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,040 + 11,9 \cdot 10^{-6} \cdot 0,003) \cdot$$

$$\cdot (107,616 - 20) - 11,9 \cdot 10^{-6} \cdot (0,040 + 0,040) \cdot (106,495 - 20)] = 2,714 \cdot 10^{-6} \text{ МН.}$$

					ЛН11.06534.2.001 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункове навантаження на болти при затягуванні, яке необхідне для забезпечення в робочих умовах тиску на прокладку, достатнього для герметизації фланцевого з'єднання:

$$P_{\delta 1} = \max \left\{ \alpha \cdot (Q_D + F) + R_n + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{cn}}; \alpha \cdot (Q_D + F) + R_n + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{cn}} - Q_t \right\} =$$

$$= \max \left\{ 7,408 \cdot 10^{-5} \cdot (0,272 + 0) + 0,033 + \frac{4 \cdot 0 \cdot |0|}{0,05}; 7,408 \cdot 10^{-5} \cdot (0,272 + 0) + 0,033 + \frac{4 \cdot 0 \cdot |0|}{0,05} - 2,714 \cdot 10^{-6} \right\} = \max\{0,033; 0,033\} = 0,033 \text{ МН},$$

де $\alpha_M = 0$ – зовнішній згинаючий момент.

Номінальне допустиме напруження для болтів:

$$[\sigma]_n^{\delta} = 126 \text{ МПа.}$$

Розрахункове навантаження на болти при затягуванні, яке необхідне для забезпечення обтиснення прокладки і мінімального початкового натягнення болтів:

$$P_{\delta 2} = \max \{ P_{обт}; 0,4 \cdot A_{\delta} \cdot [\sigma]_n^{\delta} \} = \max\{0,086; 0,4 \cdot 0,011 \cdot 126\} =$$

$$= \max\{0,086; 0,55\} = 0,55 \text{ МН.}$$

Розрахункове навантаження на болти при затягуванні фланцевого з'єднання:

$$P_{\delta}^M = \max\{P_{\delta 1}; P_{\delta 2}\} = \max\{0,033; 0,55\} = 0,55 \text{ МН.}$$

Розрахункове навантаження на болти фланцевих з'єднань у робочих умовах:

$$P_{\delta}^P = P_{\delta}^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_D + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{cn}} = 0,55 + (1 - 7,408 \cdot$$

$$10^{-5}) \cdot (0,272 + 0) + 2,714 \cdot 10^{-6} + \frac{4 \cdot (1 - 0) \cdot |0|}{1,0575} = 0,822 \text{ МН.}$$

Перевірка міцності болтів і прокладки.

Розрахункове напруження в болтах фланцевих з'єднань при затягуванні:

$$\sigma_{\delta 1} = \frac{P_{\delta}^M}{A_{\delta}} = \frac{0,55}{0,011} = 50,4 \text{ МПа.}$$

Розрахункове напруження в болтах фланцевих з'єднань в робочих умовах:

$$\sigma_{\delta 2} = \frac{P_{\delta}^P}{A_{\delta}} = \frac{0,822}{0,011} = 75,36 \text{ МПа.}$$

					ЛН11.06534.2.001 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Допустиме напруження для болтів при затягуванні:

$$[\sigma]_M^{\bar{\sigma}} = \xi \cdot K_{y.p} \cdot K_{y.z} \cdot K_{y.m} \cdot [\sigma]_n^{\bar{\sigma}} = 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 126 = 151,2 \text{ МПа},$$

де $K_{y.p} = 1,0$ – коефіцієнт умов роботи,

$K_{y.z} = 1,0$ – коефіцієнт умов затягування,

$K_{y.t} = 1,0$ – коефіцієнт, який враховує навантаження від температурних деформацій,

$\xi = 1,2$ – коефіцієнт збільшення допустимих напружень при затягуванні.

Умова міцності болтів фланцевих з'єднань при затягуванні:

$$\sigma_{\bar{\sigma}1} \leq [\sigma]_M^{\bar{\sigma}},$$

$$50,4 \text{ МПа} < 151,2 \text{ МПа}.$$

Умова міцності виконується.

Допустиме напруження для болтів в робочих умовах і при випробуваннях:

$$[\sigma]_p^{\bar{\sigma}} = K_{y.p} \cdot K_{y.z} \cdot K_{y.m} \cdot [\sigma]_n^{\bar{\sigma}} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 126 = 170,1 \text{ МПа}.$$

Умова міцності болтів фланцевих з'єднань в робочих умовах:

$$\sigma_{\bar{\sigma}2} \leq [\sigma]_p^{\bar{\sigma}},$$

$$75,36 \text{ МПа} < 170,1 \text{ МПа}.$$

Умова міцності виконується.

Розрахунковий питомий тиск:

$$q = \frac{\max\{P_{\bar{\sigma}}^M; P_{\bar{\sigma}}^P\}}{\pi \cdot D_{ch} \cdot b_n} = \frac{\max\{0,55; 0,822\}}{3,14 \cdot 1,0575 \cdot 0,013} = \frac{0,822}{3,14 \cdot 1,0575 \cdot 0,013} = 19,033 \text{ МПа}.$$

Визначаємо за [20] допустимий питомий тиск:

$$[q] = 100 \text{ МПа}.$$

Умова міцності для м'яких прокладок:

$$q \leq [q],$$

$$19,033 \text{ МПа} < 100 \text{ МПа}.$$

Умова міцності виконується.

Розрахунок фланців на статичну міцність.

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт, який враховує вигин тарілки фланця між болтами:

$$C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_o}{n_o}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0,5}}} \right\} = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\frac{3,14 \cdot 1,105}{36}}{2 \cdot 0,023 + \frac{6 \cdot 0,040}{2,5 + 0,5}}} \right\}$$

$$= \max\{1; 0,875\} = 1.$$

Розрахунковий згинаючий момент, який діє на фланець при затягуванні плоского фланця:

$$M_M = C_F \cdot P_o^M \cdot b = 1 \cdot 0,55 \cdot 0,024 = 0,013 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Розрахунковий згинаючий момент, який діє на фланець в робочих умовах при застосуванні плоского фланця:

$$M^P = C_F \cdot \max\{[P_o^P \cdot b + (Q_D + Q_{FM}) \cdot e]; [Q_D + Q_{FM}] \cdot e\} =$$

$$= 1 \cdot \max\{[0,822 \cdot 0,024 + (0,272 + 0) \cdot 0,02]; [0,272 + 0] \cdot 0,02\} =$$

$$= 1 + \max\{0,025; 5,337 \cdot 10^{-3}\} = 0,025 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Зведений діаметр плоского фланця:

$$D^* = D = 1 \text{ м}.$$

Меридіальне згинаюче напруження в обичайці плоского фланця при затягуванні:

$$\sigma_0^M = \sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (S_1 - C)^2 \cdot D^*} = \frac{0,013}{0,546 \cdot (0,06 - 0,002)^2 \cdot 1} = 7,104 \text{ МПа}.$$

Радіальне напруження плоского фланця в умовах затягування:

$$\sigma_R^M = \frac{(1,33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0) \cdot M^M}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} = \frac{(1,33 \cdot 0,91 \cdot 0,040 + 0,134) \cdot 0,013}{0,546 \cdot 0,040^2 \cdot 0,134 \cdot 1} = 20,324 \text{ МПа}.$$

Розрахунковий коефіцієнт β_Y :

$$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left(0,69 + 5,72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = \frac{1}{1,13 - 1} \cdot \left(0,69 + 5,72 \cdot \frac{1,13^2 \cdot \lg 1,13}{1,13^2 - 1} \right)$$

$$= 16,077.$$

Розрахунковий коефіцієнт β_Z :

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = \frac{1,13^2 + 1}{1,13^2 - 1} = 8,223.$$

					ЛН11.06534.2.001 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окружне напруження плоского фланця в умовах затягування:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = \frac{16,077 \cdot 0,013}{0,040^2 \cdot 1} - 8,223 \cdot 20,324 = -35,923 \text{ МПа.}$$

Меридіальне згинаюче напруження в обичайці плоского фланця в робочих умовах:

$$\sigma_0^P = \sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (S_0 - C)^2 \cdot D^*} = \frac{0,025}{0,546 \cdot (0,018 - 0,002)^2 \cdot 1} = 13,547 \text{ МПа.}$$

Меридіальне мембранне напруження в обичайці плоского фланця в робочих умовах:

$$\sigma_{0mm}^P = \frac{0,785 \cdot D \cdot p + F \pm \frac{4 \cdot |M|}{D + S_0}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - C)} = \frac{0,785 \cdot 1 \cdot 0,31 + 0 \pm \frac{4 \cdot |0|}{1 + 0,018}}{3,14 \cdot (1 + 0,018) \cdot (0,018 - 0,002)} = 4,756 \text{ МПа.}$$

Окружне мембранне напруження від дії тиску в обичайці плоского фланця в робочих умовах:

$$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (S_0 - C)} = \frac{0,31 \cdot 1}{2 \cdot (0,018 - 0,002)} = 9,688 \text{ МПа.}$$

Радіальне напруження плоского фланця в робочих умовах:

$$\sigma_R^P = \frac{(1,33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0)}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = \frac{(1,33 \cdot 0,91 \cdot 0,040 + 0,134)}{0,546 \cdot 0,040^2 \cdot 0,134 \cdot 1} \cdot 0,025 = 38,76 \text{ МПа.}$$

Окружне напруження плоского фланця в робочих умовах:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = \frac{16,077 \cdot 0,025}{0,040^2 \cdot 1} - 8,223 \cdot 38,76 = -68,509 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт при розрахунку без урахування обмеженості температурних деформацій:

$$K_T = 1,3.$$

Коефіцієнт K_S :

$$K_S = 1,2.$$

Допустиме значення загальних мембранних і згинаючих напружень:

$$[\sigma]_M = 1,5 \cdot [\sigma] = 1,5 \cdot 159 = 238,5 \text{ МПа.}$$

Допустиме значення сумарних умовних пружних напружень:

$$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma] = 3 \cdot 159 = 477 \text{ МПа.}$$

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умова статичної міцності плоских фланців при затягуванні:

$$\begin{aligned} \max\{|\sigma_0^M + \sigma_R^M|; |\sigma_0^M + \sigma_T^M|\} &\leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M, \\ \max\{|7,104 + 20,324|; |7,104 + (-35,923)|\} &\leq 1,0 \cdot 1,2 \cdot 238,5, \\ \max\{27,428; 28,82\} &\leq 310,05, \\ 28,82 \text{ МПа} &< 310,05 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Умова статичної міцності виконується.

Умова статичної міцності плоских фланців в робочих умовах:

$$\begin{aligned} \max\left\{\begin{aligned} &|\sigma_0^P - \sigma_{0MM}^P + \sigma_R^P|; \\ &|\sigma_0^P - \sigma_{0MM}^P + \sigma_T^P|; \\ &|\sigma_0^P + \sigma_{0MM}^P| \end{aligned}\right\} &\leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_0, \\ \max\left\{\begin{aligned} &|13,547 - 4,756 + 38,76|; \\ &|13,547 - 4,756 + (-68,51)|; \\ &|13,547 + 4,756| \end{aligned}\right\} &\leq 1,0 \cdot 1,2 \cdot 238,5, \\ \max\left\{\begin{aligned} &47,552; \\ &59,718; \\ &18,303 \end{aligned}\right\} &\leq 310,05, \\ 59,718 \text{ МПа} &< 310,05 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Умова статичної міцності виконується.

Умова міцності для фланців в перерізі:

$$\begin{aligned} \max\{|\sigma_{0Mo}^P|; |\sigma_{0MM}^P|\} &\leq [\sigma], \\ \max\{|9,688|; |4,756|\} &\leq 159, \\ 9,688 \text{ МПа} &< 159 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Умова міцності виконується.

Умова статичної міцності плоских фланців при затягуванні:

$$\begin{aligned} \max\{|\sigma_R^M|; |\sigma_T^M|\} &\leq K_T \cdot [\sigma], \\ \max\{|20,324|; |-35,923|\} &\leq 1,3 \cdot 159, \\ 35,923 \text{ МПа} &< 206,7 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Умова статичної міцності виконується.

					ЛН11.06534.2.001 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умова статичної міцності плоских фланців в робочих умовах:

$$\begin{aligned} \max\{|\sigma_R^P|; |\sigma_T^P|\} &\leq K_T \cdot [\sigma], \\ \max\{|38,76|; |-68,51|\} &\leq 1,3 \cdot 159, \\ 68,51 \text{ МПа} &< 206,7 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Умова статичної міцності виконується.

Визначаємо за [20] коефіцієнт K_θ :

$$K_\theta = 1.$$

Допустимий кут повороту приварного в стик фланця:

$$[\theta] = 0,00863 \text{ рад.}$$

Визначаємо за [20] модуль повздовжньої пружності в умовах розтягу матеріалу фланця при розрахунковій температурі:

$$E = 1,9 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Перевірка умови герметичності плоского фланця в робочих умовах:

$$\begin{aligned} \theta &= M^P \cdot y_\phi \cdot \frac{E^{20}}{E} \leq K_\theta \cdot [\sigma], \\ \theta &= 0,025 \cdot 0,106 \cdot \frac{1,99 \cdot 10^5}{1,9 \cdot 10^5} \leq 1 \cdot 0,00863, \\ 2,762 \cdot 10^{-3} &< 0,00863. \end{aligned}$$

Умова виконується.

Допустимий кут повороту кільця вільного фланця:

$$[\theta]_K = 0,02 \text{ рад.}$$

Висновок: Всі умови виконуються, фланці підібрані вірно.

5.10 Розрахунок теплової ізоляції

Мета розрахунку: розрахувати та визначити товщину теплової ізоляції корпуса і днища апарату.

Розрахункова схема зображена на рисунку 5.7.

Розрахунок виконано за методикою [21].

					ЛН11.06534.2.001 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вихідні дані:

Температура речовини в апараті t_w , °C

112,1;

діаметр корпусу d , м

1;

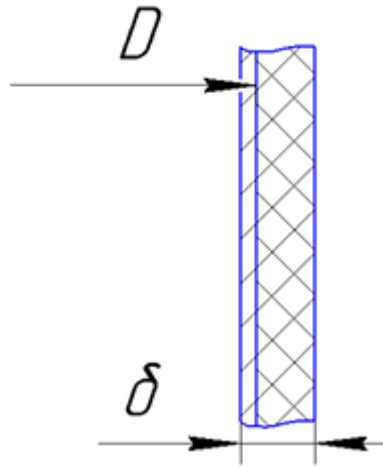


Рисунок 5.13 – Схема до розрахунку теплової ізоляції

Середня температура теплоізоляційного шару для об'єктів, розташованих на відкритому повітрі:

Влітку:

$$t_m = \frac{t_w + 40}{2}. \quad (5.1)$$

Взимку:

$$t_{m'} = \frac{t_w}{2}. \quad (5.2)$$

Теплопровідність теплоізоляційного шару в конструкції:

Влітку:

$$\lambda_k = 0,049 + 0,0002 \cdot t_m. \quad (5.3)$$

Взимку:

$$\lambda_{k'} = 0,049 + 0,0002 \cdot t_{m'}. \quad (5.4)$$

Оскільки $\lambda_k > \lambda_{k'}$, то далі розрахунки проводимо тільки для літніх умов.

Опір теплопередачі теплоізоляційної конструкції:

$$R_{tot} = \frac{t_w - t_e}{q \cdot K_1}, \quad (5.5)$$

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $q = 219 \text{ Вт/м}^2$ – нормована поверхнева щільність теплового потоку, обираємо за [21];

$K_1 = 1$ – коефіцієнт, що враховує зміну вартості теплоти й теплоізоляційної конструкції залежно від району встановлення об'єкта;

$t_e = 7,2 \text{ }^\circ\text{C}$ – розрахункова температура оточуючого середовища для заізованих об'єктів на відкритому повітрі для Києва.

Термічний опір теплоізоляційної конструкції:

$$R_k = R_{tot} - \frac{1}{\alpha_e} - R_m, \quad (5.6)$$

де $\alpha_e = 35$ – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні теплоізоляційної конструкції до оточуючого середовища, обираємо за [21];

$R_m = 0$ – термічний опір неметалевої стінки ізованого об'єкта.

Товщина теплоізоляційного шару:

$$\delta_k = \lambda_k \cdot R_k. \quad (5.7)$$

Тоді товщина теплоізоляційного виробу:

$$\delta_1 = \delta_k \cdot K_C \cdot \frac{d \cdot \delta_k}{d \cdot 2 \cdot \delta_k}. \quad (5.8)$$

Блок – схема, таблиця ідентифікаторів, та програма розрахунку наведена в додатку Б.

За результатами розрахунку встановили товщину теплоізоляційного шару, який підходить під наші вимоги, яка становить $\delta = 40 \text{ мм}$.

6 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації.

Рекомендації щодо монтажу обрано згідно [22]

Для забезпечення тривалої та безперервної роботи випарного апарата з виносною циркуляційною трубою необхідно дотриматись певних вимог щодо його монтажу та експлуатації. Перед установкою апарату проводять інженерні розрахунки та роблять детальний план установки, враховують розміщення апарата на ділянці з урахування зручного доступу для обслуговування, підключення апарата до систем живлення, циркуляції і контролю також враховують вимоги до розміщення насосів, фільтрів та іншого допоміжного обладнання. Також необхідно впевнитися у відсутності механічних пошкоджень під час виготовлення та експлуатації, перевірити комплектність постачання обладнання відповідно до технічної документації. Місця має бути достатньо для виконання робіт і монтажу, тому що зазвичай випарні апарати надходять від виробника в зібраному вигляді. Апарат можуть розібрати на основні частини, якщо це полегшить монтаж і підйом поверх через його висоту і вагу.

Монтаж випарного апарата починається з підготовки основи, вона має бути рівною і міцною, щоб відповідати технічним вимогам щодо ваги апарата. Підйом апарата здійснюють методом стропування з використанням вантажопідіймального обладнання. Для цього підбирають відповідні вантажні стропи, які закріплюють на спеціально передбачених для цього точках апарата. Важливо переконатись, що стропи надійно зафіксовані та відповідають нормам вантажопідйомності, щоб уникнути пошкоджень обладнання або нещасних випадків. Під час підйому слід суворо дотримуватись правил техніки безпеки.

Перед початком монтажу потрібно ознайомитись з паспортом виробу, щоб переконатися що він відповідає нашим вимогам. Обов'язково потрібно впевнитись, що монтаж обладнання відповідає технічним вимогам, техніці безпеки, пожежної безпеки та охороні праці.

На корпусі апарата діаметрально приварені 4 опорні лапи, на них

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встановлюють апарат у проєктне положення і закріплюють. На цьому етапі перевіряють чи правильно орієнтований апарат відповідно до технологічної схеми та чи достатньо простору для обслуговування. Після встановлення апарата проводять монтаж трубопроводів до відповідних патрубків апарата, встановлюють теплоізоляцію. Наступним кроком є установка насосів та іншого допоміжного обладнання. Насоси розміщують поруч з апаратом, щоб забезпечити ефективну циркуляцію рідини.

Особливу увагу приділяють контрольно - вимірювальній апаратурі. На апарат встановлюють датчики тиску, температури та рівня, які підключають до автоматизованої системи керування. Всі датчики ретельно перевіряють на працездатність та надійність.

Після завершення механічного монтажу виконують підключення до системи електроживлення. Проводять кабелі, встановлюють автомати захисту та передбачають систему аварійного вимкнення. Усі електроз'єднання перевіряють на відповідність вимогам безпеки.

Перед введенням апарата в експлуатацію проводять його тестування. Систему заповнюють водою та перевіряють герметичність усіх з'єднань. Запускають насоси і контролюють циркуляцію рідини, оцінюють роботу датчиків і автоматизованої системи керування. Якщо виявляються недоліки, виконуються їх усунення.

Після успішного тестування здійснюють остаточне налаштування параметрів системи. Налаштовують оптимальні показники температури, тиску та швидкості циркуляції, перевіряють роботу вузлів і механізмів. Завершальним етапом є передача обладнання в експлуатацію, проведення інструктажу для персоналу та оформлення відповідної документації.

Правильно виконаний монтаж забезпечує тривалу й ефективну роботу апарата, мінімізуючи ризик збоїв і аварійних ситуацій.

У подальшій експлуатації важливо дотримуватись регламенту технічного апарата. Це включає періодичний візуальний огляд з'єднань та корпусу на предмет

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

корозії, перевірку стану теплоізоляції обслуговування насосного обладнання. Рекоментується проводити регулярне калібрування контрольно вимірювальних приладів і тестування системи аварійного відключення. Ведення технічного журналу обліку обслуговування та несправностей дозволяє своєчасно виявляти та усувати потенційні проблеми, що суттєво подовжує термін служби апарата та зберігає стабільність технологічного процесу.

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7 Рівень стандартизації і уніфікації

Одним з ключових завдань при розробці і впровадженні технологічного обладнання є забезпечення його відповідності стандартам, які регламентують безпеку, ефективність та взаємозамінність вузлів і компонентів. Стандартизація та уніфікація відіграють важливу роль у зниженні витрат на виробництво, монтаж і обслуговування випарного апарата з виносною циркуляційною трубою, а також у забезпеченні його надійності та довговічності. [23]

Стандартизація передбачає використання єдиних норм правил та технічних умов під час виготовлення, монтажу та експлуатації обладнання. Ключове завдання стандартизації – це зменшення різноманітності використовуваних елементів. Це досягається за рахунок впровадження стандартних деталей таких як фланці, трубопроводи, кріпильні елементи та інші компоненти які відповідаються державним або міжнародним стандартам (наприклад ГОСТ, ISO). Завдяки цьому забезпечується висока взаємозамінність і зниження витрат.

Уніфікація передбачає зменшення кількості різновидів елементів, що застосовуються в конструкції апарата, завдяки взаємозамінним вузлам і деталям. Уніфікація кріпильних елементів (болтів, гайок, ущільнювачів) спрощує складання та ремонт апарата. Уніфікація доповнює стандартизацію, створюючи спільні технічні рішення, що дозволяють застосовувати одні й ті ж елементи в різних конструкціях.

Для оцінки рівня стандартизації та уніфікації продукції використовуються відповідні коефіцієнти, ці коефіцієнти допомагають визначити наскільки конструкція відповідає сучасним вимогам спрощення, оптимізації та ефективності.

Кількість деталей та вузлів підраховується за специфікацією. Загальна кількість деталей $N = 40$, з них стандартних $N_c = 31$, уніфікованих $N_y = 6$, унікальних $n = 3$

Коефіцієнт стандартизації:

$$K_c = \frac{N_c}{N} = \frac{31}{40} = 0,775.$$

					ЛН11.06534.2.001 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт уніфікації визначаємо із залежності:

$$K_y = \frac{N_c + N_y}{N} = \frac{31 + 6}{40} = 0,925.$$

Висновок: Було встановлено коефіцієнти стандартизації $K_c = 0,775$ та уніфікації $K_y = 0,925$. Коефіцієнти уніфікації і стандартизації в нормі, тому це значно спрощує виготовлення і встановлення апарату.

8 Техніко-економічне обґрунтування модернізації

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8.1 Вступ

Модернізація технологічного обладнання є важливим етапом підвищення ефективності виробництва, зниження енерговитрат та збільшення терміну служби установки. Апарат добре розроблений і прослужить більше 10 років при правильному і вчасному обслуговуванні. Було вдосконалено відбивник пари, а саме замість звичайного радіального вигину, було прийнято рішення зробити його трикутноподібним. Таке виконання відбивника економічно вигідне і захищає труби від прогорання.

Модернізація обладнання, зокрема для хімічної та нафтопереробної галузей, забезпечує зростання продуктивності обладнання на 13-15%. При цьому витрати на оновлення, як правило, не перевищують половини вартості нового устаткування подібного призначення. Виконувати модернізацію найкраще під час проведення капітального ремонту, що дозволяє мінімізувати витрати коштів та часу.

Основні техніко-економічні показники базового та модернізованого апаратів наведено в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Техніко – економічні показники випарного апарату.

№	Найменування показників	Одиниця виміру	Апарат до модернізації	Апарат після модернізації
1	2	3	4	5
1. Показники призначення.				
1.1	Продуктивність	кг/с	10	10,5
1.2	Основний матеріал	-	08X18H10T	08X18H10T
1.3	Висота апарата	мм	13498	13498
1.4	Поверхня теплообміну	м ²	100	100

Продовження таблиці 8.1

					ЛН11.06534.2.001 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Показники безпеки робочого середовища				
3.1	Клас небезпечності за ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007	-	До 2 кл.	До 2 кл.
3.2	Пожежонебезпека за ДСТУ 8828:2019	-	помірно пожежонебезпечне	помірно пожежонебезпечне
3.3	Категорія вибухонебезпечності за ДСТУ 7113:2009	-	II Г	II Г

8.2 Техніко-економічне обґрунтування раціональності модернізації випарного апарату

Модернізація паровідбивача – це вдосконалення конструкції, яка дозволяє розширити його функціональні можливості, адаптувати до сучасних технічних та технологічних стандартів, покращити умови експлуатації та знизити витрати ресурсів. Загалом, модернізація обладнання спрямована на підвищення його ефективності та продуктивності.

Техніко-економічне обґрунтування доцільності модернізації передбачає розрахунок коефіцієнта ефективності витрат. Отримані значення дозволяють оцінити економічну доцільність проведення удосконалення. Розраховуємо за [24]:

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

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

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

$K_{Hi} = 700$ тис. грн – оптова ціна придбання нового аналогічного устаткування, грн;

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

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$S_{a_i} = 0$ - втрати від недоамортизації устаткування, яке підлягає модернізації.

Розрахований коефіцієнт n_{p_i} може мати нульове, плюсове або негативне значення, наведено в таблиці 8.2.

Таблиця 8.2 - Значення коефіцієнта ефективності витрат n_{p_i} на модернізацію устаткування

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

Зі значною точністю, достатньою для виконання розрахунків і заснованою на практичних даних хімічного машинобудування, сукупні витрати M_i на модернізацію обладнання можуть бути визначенні за допомогою такої формули:

$$M_i = \Phi_{i_{\text{перв}}}^{\text{мод}} \cdot K_i,$$

де $\Phi_{i_{\text{перв}}}^{\text{мод}} = 600$ тис. грн первісна (відновлена) вартість устаткування, яке підлягає модернізації.

$K_i = 0,06$ коефіцієнт витрат, величина якого залежить від виду і типу устаткування, яке підлягає модернізації.

Тоді:

$$M_i = \Phi_{i_{\text{перв}}}^{\text{мод}} \cdot K_i = 600000 \cdot 0,06 = 36\,000 \text{ тис. грн.}$$

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Експлуатаційні витрати при роботі устаткування складаються з таких витрат:

- витрати паливно-мастильних речовин;
- витрати на придбання та виробництво потрібних запасних частин;
- витрати на оплату праці ремонтного персоналу.

Експлуатаційні витрати по модернізованому устаткуванню визначаємо за:

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

де $q_{bi} = 0,12$ – коефіцієнт експлуатаційних (поточних) витрат устаткування, яке підлягає модернізації;

$q_{bH} = 0,10$ – коефіцієнт експлуатаційних (поточних) витрат аналогічного нового устаткування.

Тоді:

$$S_{ei} = 0,12 \cdot 600000 - 0,10 \cdot 600000 = 12\,000 \text{ тис. грн.}$$

Коефіцієнт співвідношення продуктивності розраховується по формулі:

$$\alpha = \frac{P_i}{P_{\text{нов}}} = \frac{0,8}{1} = 0,8,$$

де $P_i = 0,8$ Па – гідравлічний опір модернізованого апарата;

$P_{\text{нов}} = 1\,000$ Па – гідравлічний опір аналогічного нового апарата.

Коефіцієнт співвідношення тривалості ремонтного циклу модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування β розраховується по формулі:

$$\beta = \frac{T_{\text{мод}}}{T_{\text{нов}}},$$

де $T_{\text{мод}}$ – тривалість ремонтного циклу устаткування, яке підлягає модернізації;

$T_{\text{нов}}$ – тривалість ремонтного циклу аналогічного нового устаткування.

Для випарних апаратів приймаємо коефіцієнт $\beta = 0,95$.

Маючи дані можна розрахувати коефіцієнт ефективності витрат:

$$n_{pi} = 1 - \frac{36\,000 + 12\,000}{700000 \cdot 0,8 \cdot 0,95 + 0} = 0,909.$$

Висновок: У розділі було розраховано техніко-економічне обґрунтування доцільності модернізації трикутноподібного відбивника пари у випарному апараті для

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

опріснення морської води. З таблиці 8.2 бачимо що $n_{pi} > 0$, тому можемо зробити висновки що модернізація економічно доцільна, і несе за собою ряд підвищення позитивних показників.

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

В дипломному проєкті освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» на тему: "Модернізація випарного апарату установки опріснення морської води з утилізацією концентрату " з продуктивністю по сировині 2,5 кг/с, де початкова концентрація розчинених речовин в сировині 3 мас %, а кінцева концентрація розчинених речовин в сировині 25 мас %. Було проведено модернізацію відбивника пари, її суть полягає в тому, що відбивник виконаний трикутноподібним, замість радіального вигину. Модернізація була проведена щоб збільшити економічну вигідність та захистити труби від прогорання.

Для повного виконання поставленого завдання було проведено розгляд вже існуючих конструкцій, на основі цього аналізу було обрано випарний апарат з виносною циркуляційною трубою і проведено аналіз з аналогами. Також було проведено патентне дослідження і розроблено рекомендації з охорони праці. Зроблено висновки по стандартизації та уніфікації. Наведено рекомендації по монтажу та здійсненню техніко-економічне обґрунтування модернізації.

В проєкті було виконано 10 розрахунків які підтверджують працездатність та надійність конструкції, а саме: параметричний, конструктивний, розрахунок допоміжного обладнання, розрахунок штуцерів, розрахунки обичайок на сепаратор та гріючу камеру, розрахунки конічного і еліптичного днища, фланцеве з'єднання та теплова ізоляція. Розрахунки виконані в програмі MATHCAD15.

Графічна частина проєкту включає одне креслення формату A0 та два креслення формату A1, що містять: схему опріснення морської води, складальне креслення випарного апарата та креслення грійної камери. До складальних креслень додані специфікації.

Результати розрахунків зведені у розрахунково-пояснювальну записку, що включає дані відповідності розробленої конструкції вимогам техніки безпеки.

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Conclusions

In the diploma project of the educational and qualification level "Bachelor" on the topic: "Modernization of the evaporator of the seawater desalination plant with the utilization of the concentrate" with a raw material productivity of 2.5 kg/s, where the initial concentration of dissolved substances in the raw material is 3 %, and the final concentration of dissolved substances in the raw material is 25 %. The steam deflector was modernized, its essence lies in the fact that the deflector is made triangular, instead of radially curved. The modernization was carried out to increase economic profitability and protect the pipes from burning out.

To fully implement the task, a review of existing structures was carried out, based on this analysis, an evaporator with a remote circulation pipe was selected and an analysis was carried out with analogues. A patent study was also conducted and recommendations on labor protection were developed. Conclusions on standardization and unification were drawn. Recommendations for installation are given and a feasibility study for modernization is carried out.

The project included 10 calculations that confirm the operability and reliability of the structure, namely: parametric, structural, calculation of auxiliary equipment, calculation of fittings, calculations of shells for the separator and heating chamber, calculations of the conical and elliptical bottom, flange connection and thermal insulation. The calculations were performed in the MATHCAD15 program.

The graphic part of the project includes one A0 format drawing and two A1 format drawings, containing: a seawater desalination scheme, an assembly drawing of the evaporator and a drawing of the heating chamber. Specifications are attached to the assembly drawings.

The results of the calculations are summarized in a calculation and explanatory note, which includes data on the compliance of the developed structure with safety requirements.

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік посилань

1. Опріснення морської води, методи очищення URL: <https://formulavody.com.ua/uk/opresnenie-morskoj-vody-metody-ochistki>
2. Bouazza A., Ait Hak S., Faddouli A., Khaless K., Benhida R. (2024). Kainite crystallization from RO bittern: A novel approach using discontinuous evaporation. *Desalination*. Vol. 582. 117652. Doi: URL: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2024.117652>
3. Perry's Chemical Engineers' Handbook. New York: McGraw-Hill, 1997.
4. Сталь 08X18H10T URL: <https://metinvest-smc.com.ua/steel/stal-08kh18n10t/>
5. Сталь 35 URL: https://metinvest-smc.com.ua/steel/stal-35/?srsltid=AfmBOoqndWiNScGR-LWqcchLmwoTf9aMxAfX7ZNK6ilWmMEnyyoM_5zI
6. Сталь 09Г2С URL: https://metinvest-smc.com.ua/steel/stal-09g2s/?srsltid=AfmBOoq2nLjEAdeN9xd9jnBnJKTgMn8F8GBYoMpfhF58sgjV_SJU15qv
7. Мікульонюк, І. О. Інтелектуальна власність та патентознавство [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра за технічними спеціальностями / І. О. Мікульонюк ; КПП ім. Ігоря Сікорського. – 5-те видання, перероблене і доповнене – Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 248 с.
8. Patent US12049410B2 Adsorption desalination system using multi-effect evaporation apparatus
9. Patent EP4345057A1 METHOD AND APPARATUS FOR EVAPORATING LIQUEFIED HYDROGEN
10. Patent CN221905786U High-efficiency evaporator
11. Patent CN118846542A Concentration and crystallization evaporator
12. Patent CN221933069U Secondary steam reheating evaporator

13. Закон України [№ 1213-IX від 04.02.2021](#), ВВР, 2021, № 20, ст.178
14. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку
15. ПУЕ Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання)
16. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
17. Процеси та обладнання хімічних технологій. Частина 1. Практикум: навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування обладнання хімічної інженерії» спеціальності 133 Галузеве машинобудування / Корнієнко Я. М., Степанюк А. Р., Гулієнко С. В., Гайдай С. С., Семінський О. О. ; КПІ ім. Ігоря Сікорського.
18. 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”
19. Конструювання і розрахунок основних елементів посудин та апаратів [Електронний ресурс]: підруч. для здобувачів ступеня бакалавра за спец. 133 Галузеве машинобудування; КПІ ім. Ігоря Сікорського
20. Розрахунок та конструювання основних елементів посудин та апаратів: вимоги до розрахунково-графічної роботи [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», освітньо-професійної програми «Обладнання хімічних, нафтопереробних та целюлозно-паперових виробництв» / Ігор Андреев; КПІ ім. Ігоря Сікорського.
21. Мікульонок І. О. Проектування теплової ізоляції обладнання хімічних виробництв. Навч. посібник - К НАУК ДУМКА, 1999-152 с.

					ЛН11.06534.2.001 ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

22. Мікульонок І. О., Виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв [Текст] : підруч. для студ. вищ. навч. закл. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 419 с.: іл. – Бібліогр.: с. 413–415.
23. Вимоги до виконання дипломного проекту освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», освітньої програми «Обладнання хімічних, нафтопереробних та целюлозно-паперових виробництв» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Я.М. Корнієнко, А.Р. Степанюк, – Електронні текстові дані (1 файл: 5,9 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 80 с.
24. Задольський А.М., Шаповаленко О.О. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломних проектів бакалаврів (для студентів інженерно – хімічного факультету). Навчальне видання. – К.: НТУУ «КПІ». 2010. – 15с.

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А
Документація до патентного дослідження

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ № ЛН11.065342 РП

Найменування теми: *Випарний апарат* шифр теми: *ЛН11.065342*

Етап: *Проектування апарата та його основних частин.*

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень:

ЛН11.065342 .

Обґрунтування регламенту пошуку **Предмет пошуку:** - є випарний апарат установки опріснення морської води з утилізацією концентрату (Об'єктом пошуку є винаходи та корисні моделі).

Мета пошуку інформації: визначення патентної ситуації щодо випарних апаратів (визначення патентноздатності проєктованого апарата і визначення тенденцій розвитку даного напрямку в техніці).

Визначення держав пошуку. Встановлюємо такі держави пошуку: США, Китай.

Ретроспективність: Термін дії патенту на винахід в Україні – 20 років з дати подання заявки, на корисну модель - 10 років з дати подання заявки, тому регламент пошуку встановлюємо такий: 2024-2025.

Класифікаційні індекси: Міжнародна патентна класифікація: B01D 1/06, МПК - B01 D1/06,

Уніфікована десятикова класифікація УДК 66.06.

Джерела інформації: 1) Патентна інформація: описи до винаходів, офіційні бюлетені УКРНОІВІ; 2) Науково-технічна інформація: монографії з тепломасообмінних

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

процесів, підручники й навчальні посібники з курсу процесів та апаратів хімічних технологій.

Початок пошуку 14.05.2025 Закінчення пошуку 15.05.2025 .

Довідка про пошук № ЛН11.065342 ДП

Завдання на проведення патентних досліджень: ЛН11.065342.000

(номер, дата)

Етап: Проектування апарата та його складових частин.

Номер, дата, завдання на проведення патентних досліджень

ЛН11.00.00.00.2025 .

Номер, дата регламенту пошуку ЛН11.065342 РП 14.05.2025 ,

Початок пошуку 14.05.2023 Закінчення пошуку 15.05.2025

Довідка про пошук № ЛН11.1.ДП

Завдання на проведення патентних досліджень ЛН11.065342.000 14.04.2025

(номер, дата)

Етап Проектування апарата та його складових частин.

Номер, дата регламенту пошуку ЛН11.1.РП, 15.04.2025.

Початок пошуку 14.04.2025 Закінчення пошуку 15.04.2025

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

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Мета пошуку інформації	Держава пошуку	Класифікаційні індекси МПК, НПК, МКПЗ, МКТП, УДК	Ретроспективність пошуку	Джерела інформації
Випарний апарат	Визначення патентноздатності проектованого випарного апарата й тенденцій розвитку цього напрямку в техніці	США, Китай	B01D1/00; B01D1/06; B01D1/12; B01D1/22; B01D1/30; B01D9/00; B01D9/02; C02F1/28;	2024-2025 рр.	Національні й зарубіжні офіційні бюлетені, описи винаходів і корисних моделей

Джерела інформації, які були використані під час проведення пошуку наведені в таблиці А.2.

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця А.2 – джерела інформації. Використані під час проведення пошуку

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Держав а пошук у	Класифікац ійні індекси	Інформаційна база, використана під час пошуку	Бібліографічні данні першого та останнього за хронологією джерела інформації	
				Патентна інформація	Інше
Випарний апарат	Китай, США	B01D1/0064 (CN); B01D1/065 (CN); B01D1/12 (CN); C01B3/0089 (EP); C02F1/28 (US);	Державний патентний фонд бази даних об'єктів промислової власності, до яких надається безоплатний доступ в Інтернеті http://ep.espacenet.com/ http://base.ukrpatent.org http://www.google.com/patents https://worldwide.espacenet.com	US12049410B2U EP4345057A1 CN221905786U CN118846542A CN221933069U	—

У результаті проведення патентного пошуку для подальшого аналізу вибрані такі патентні документи (перелік згідно з таблицею А.3)

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

ОГД, його складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	Бібліографічні дані	Відомості щодо їхньої дії
Adsorption desalination system using multi-effect evaporation apparatus	Patent US12049410B2, Pub. date 2024.07.30	Діє
Method and apparatus for evaporating liquefied hydrogen	Patent EP4345057A1, Pub. date 2024.04.03	Діє
High-efficiency evaporator	Patent CN221905786U, Pub. date 2024.10.29	Діє
Concentration and crystallization evaporator	Patent CN118846542A, Pub. date 2024.10.29	Діє
Secondary steam reheating evaporator	Patent CN221933069U, Pub. date 2024.11.01	Діє

Додаток Б
Комп'ютерний розрахунок елементів випарного апарата

					<i>ЛН11.065342.001 ПЗ</i>	Арк.
						94
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Додаток Б. Програмний розрахунок теплової ізоляції.

На рисунку Б.1 зображено блок – схему до розрахунку.

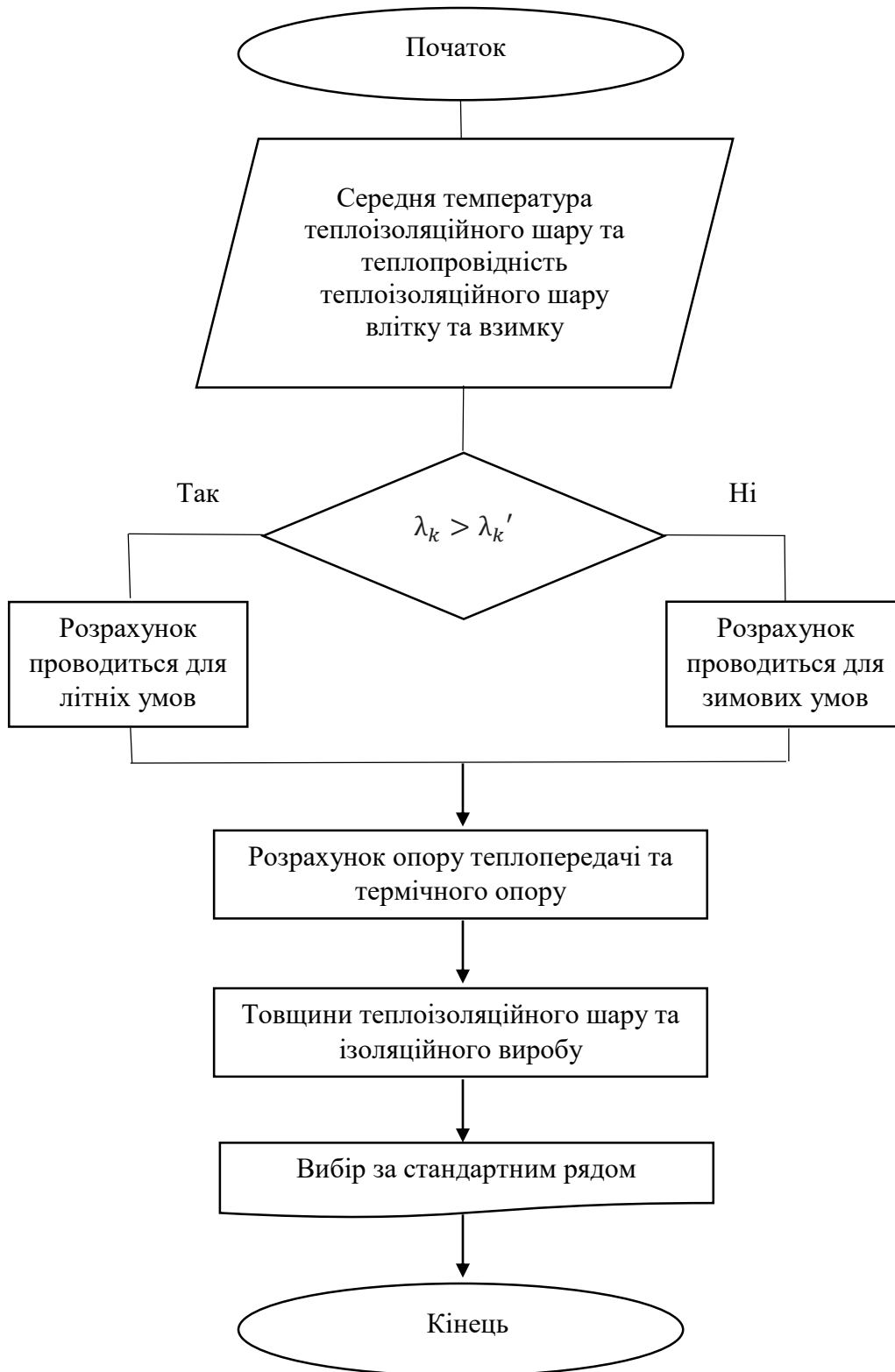


Рисунок Б.1 – Блок – схема до розрахунку теплової ізоляції

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛН11.06534.2.001 ПЗ

Арк.

95

Таблиця Б.2 – Таблиця ідентифікаторів

Найменування	Ідентифікатор	Розмірність
Температура речовини в апараті	t_w	°C
Розрахункова температура в оточуючого середовища для заізовльованих об'єктів на відкритому повітрі	t_e	°C
Нормована поверхнева щільність теплового потоку	q	Вт/м ²
Коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні теплоізоляційної конструкції	α_e	-
Термічний опір неметалевої стінки ізовльованого об'єкта	R_m	К · м ² /Вт
Коефіцієнт ущільнення	K_c	-
Діаметр корпусу	d	м

Б.3 Програма розрахунку теплової ізоляції

$$t_w := 112.1 \quad t_e := 7.2 \quad q := 219 \quad K_1 := 1 \quad \alpha_e := 35 \quad R_m := 0 \quad K_c := 1.2 \quad d := 1$$

Середня температура теплоізоляційного шару для об'єктів, розташованих на відкритому повітрі

$$\text{влітку} \quad t_m := \frac{(t_w + 40)}{2} = 76.05 \quad \text{C} \quad \text{взимку} \quad t_{m'} := \frac{t_w}{2} = 56.05 \quad \text{C}$$

Теплопровідність теплоізоляційного шару в конструкції

$$\text{влітку} \quad \lambda_k := 0.049 + 0.0002 \cdot t_m = 0.064 \quad \text{Вт/(м}^{\circ}\text{K)}$$

$$\text{взимку} \quad \lambda_{k'} := 0.049 + 0.0002 \cdot t_{m'} = 0.06 \quad \text{Вт/(м}^{\circ}\text{K)}$$

Оскільки $\lambda_k > \lambda_{k'}$, то подальші розрахунки здійснюємо тільки для літніх умов

Опір теплопередачі теплоізоляційної конструкції

$$R_{\text{tot}} := \frac{t_w - t_e}{q \cdot K_1} = 0.479 \quad \text{м}^2 \cdot \text{K/Вт}$$

Термічний опір теплоізоляційної конструкції:

$$R_k := R_{\text{tot}} - \frac{1}{\alpha_e} - R_m = 0.45 \quad \text{м}^2 \cdot \text{K/Вт}$$

Товщина теплоізоляційного шару

$$\delta_k := \lambda_k \cdot R_k = 0.029 \quad \text{м}$$

Товщина ізоляційного виробу

$$\delta_1 := \delta_k \cdot K_c \cdot \frac{d + \delta_k}{d + 2\delta_k} \rightarrow 0.029 \cdot 1.2 \cdot \frac{1 + 0.029}{1 + 2 \cdot 0.029} = 0.034 \quad \text{м}$$

Обираємо за стандартним рядом із таблиці 2.3 ст.16

$$\delta := 40 \quad \text{мм}$$

Додаток В

Патенти, які використовувалися в патентному дослідженні

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



(12) **United States Patent**
Lee et al.

(10) **Patent No.:** **US 12,049,410 B2**
(45) **Date of Patent:** **Jul. 30, 2024**

(54) **ADSORPTION DESALINATION SYSTEM
USING MULTI-EFFECT EVAPORATION
APPARATUS**

(52) **U.S. CL.**
CPC **C02F 1/048** (2013.01); **B01D 1/16**
(2013.01); **B01D 1/26** (2013.01); **B01D 1/305**
(2013.01);

(71) Applicant: **KOREA INSTITUTE OF OCEAN
SCIENCE & TECHNOLOGY**, Busan
(KR)

(Continued)
(58) **Field of Classification Search**
CPC C02F 1/048; C02F 1/28; C02F 2103/08;
B01D 1/16; B01D 1/26; B01D 1/305
See application file for complete search history.

(72) Inventors: **Ho Saeng Lee**, Sokcho-si (KR); **Ho Ji**,
Gangwon-do (KR); **Seung Taek Lim**,
Sokcho-si (KR); **Deok Soo Moon**,
Sokcho-si (KR); **Young Deuk Kim**,
Ansan-si (KR); **Seong Yong Woo**,
Gwangmyeong-si (KR); **Jun Sik Kim**,
Gimpo-si (KR); **Kyung Hun Kim**,
Ansan-si (KR)

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

3,261,766 A * 7/1966 Sherwood C02F 1/16
159/17.3
3,288,686 A * 11/1966 Othmer C02F 1/04
203/88
4,379,734 A * 4/1983 Franzen B01D 1/285
159/24.2

(Continued)

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

JP 6289413 B 3/2018
KR 10-2007-0118107 A 12/2007

(Continued)

OTHER PUBLICATIONS

International Search Report and Written Opinion dated Dec. 18,
2020 in International Application No. PCT/KR2020/009872.

Primary Examiner — Jonathan Miller

(74) Attorney, Agent, or Firm — Knobbe, Martens, Olson
& Bear, LLP

(73) Assignee: **Korea Institute of Ocean Science &
Technology**, Busan (KR)

(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this
patent is extended or adjusted under 35
U.S.C. 154(b) by 218 days.

(21) Appl. No.: **17/673,649**

(22) Filed: **Feb. 16, 2022**

(65) **Prior Publication Data**
US 2022/0169535 A1 Jun. 2, 2022

Related U.S. Application Data

(63) Continuation of application No.
PCT/KR2020/009872, filed on Jul. 27, 2020.

(30) **Foreign Application Priority Data**

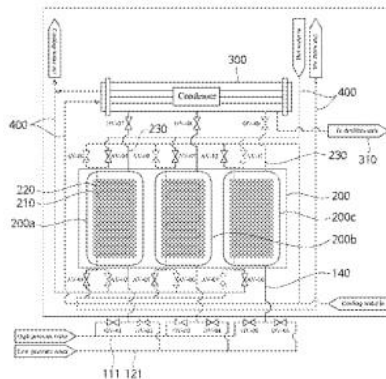
Aug. 20, 2019 (KR) 10-2019-0101687

(51) **Int. Cl.**
C02F 1/04 (2023.01)
B01D 1/16 (2006.01)
(Continued)

(57) **ABSTRACT**

This application relates to an adsorption desalination system
using a multi-effect evaporator apparatus. In one aspect, the
system includes a multi-effect evaporator apparatus produc-
ing high-pressure vapor and low-pressure vapor, a plurality
of reaction units including an adsorbent adsorbing or desor-
bing moisture from the high-pressure vapor and low-
pressure vapor and a heat exchange tube transferring heat to
the adsorbent. The system may also include a condenser
condensing vapor containing moisture desorbed from the

(Continued)



(19)



(11)

EP 4 345 057 A1

(12)

EUROPEAN PATENT APPLICATION

(43) Date of publication:

03.04.2024 Bulletin 2024/14

(51) International Patent Classification (IPC):

C01B 3/00 (2006.01)

(21) Application number: 22020464.8

(52) Cooperative Patent Classification (CPC):

C01B 3/0089

(22) Date of filing: 29.09.2022

(84) Designated Contracting States:

AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR

Designated Extension States:

BA ME

Designated Validation States:

KH MA MD TN

(72) Inventors:

- Decker, Lutz
82049 Pullach (DE)
- Weigl, Markus
82049 Pullach (DE)
- Murer, Martin
82049 Pullach (DE)

(74) Representative: Lu, Jing

Linde GmbH
Intellectual Property EMEA
Dr.-Carl-von-Linde-Straße 6-14
82049 Pullach (DE)

(71) Applicant: Linde GmbH

82049 Pullach (DE)

(54) METHOD AND APPARATUS FOR EVAPORATING LIQUEFIED HYDROGEN

(57) A method for evaporating liquid hydrogen is provided, said method comprising heating said liquid hydrogen at an evaporation pressure level over an temperature range between a first temperature level below the evaporation point of hydrogen at said evaporation pressure level and a second temperature level above the evaporation point of hydrogen at said evaporation pressure level

using an vaporizer arrangement (10), wherein at least a part of said hydrogen is contacted with a conversion catalyst promoting conversion from para- to orthohydrogen during said heating at least in a temperature sub-range of said temperature range. A corresponding apparatus is also part of the present invention.

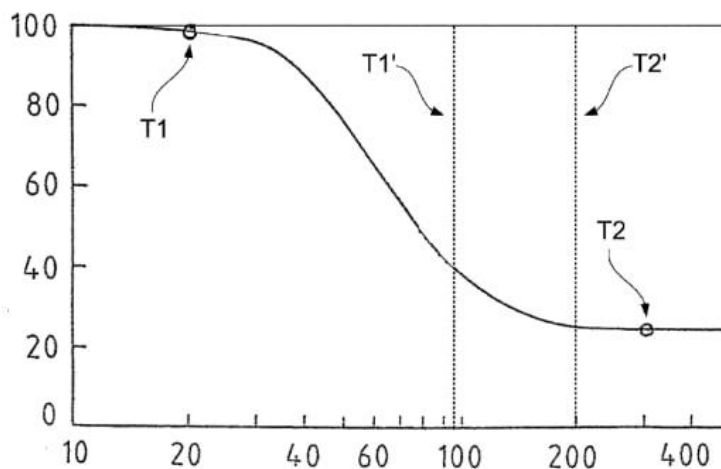


Fig. 1

Processed by Luminess, 75001 PARIS (FR)

EP 4 345 057 A1

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛН11.065342.001 ПЗ

Арк.

100

(19) 国家知识产权局



(12) 实用新型专利



(10) 授权公告号 CN 221905786 U

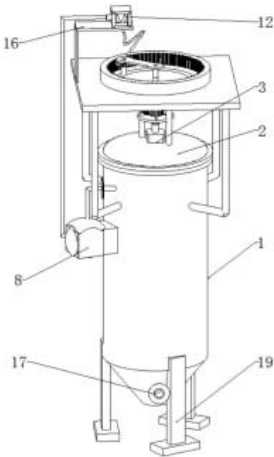
(45) 授权公告日 2024. 10. 29

(21) 申请号 202420536465.8
(22) 申请日 2024.03.19
(73) 专利权人 郑州陆新制冷设备有限公司
地址 451450 河南省郑州市中牟县姚家乡
建设南路1号
(72) 发明人 于来军 谢继华 谭海洋
(74) 专利代理机构 北京知汇宏图知识产权代理
有限公司 11520
专利代理师 刘文闻
(51) Int. Cl.
B01D 1/06 (2006.01)
B01D 1/30 (2006.01)

权利要求书1页 说明书3页 附图8页

(54) 实用新型名称
一种高效率蒸发器

(57) 摘要
本实用新型涉及蒸发器技术领域,且公开了一种高效率蒸发器,包括主桶、双向电机、水泵,主桶的上端固定安装有顶盖,双向电机下部的输出端固定连接有内盖,内盖的内表面固定连接有引水杆,引水杆的侧面开设有积水渠,主桶上部的内表面固定连接有水环,由于双向电机和内盖之间的转动连接,双向电机带动内盖旋转时在离心力的作用下内盖和积水渠的积水和小水滴向边缘流动,最终甩滴落在水环的内腔位置,水环的内表面固定连接有漏管,漏管的下端固定连接有圈管,圈管的内表面固定连接有水箱,水箱与主桶的外表面固定连接;本实用新型通过对主桶内的内盖蒸馏水的收集,实现避免水重复加热循环带来的低效率效果。



CN 221905786 U

(19) 国家知识产权局



(12) 发明专利申请



(10) 申请公布号 CN 118846542 A

(43) 申请公布日 2024. 10. 29

(21) 申请号 202411320196.2

B01D 1/30 (2006.01)

(22) 申请日 2024.09.23

B01D 9/00 (2006.01)

B01D 9/02 (2006.01)

(71) 申请人 英颇瑞智能科技(上海)有限公司

地址 200131 上海市浦东新区中国(上海)
自由贸易试验区加太路39号3幢楼二
层4部位

(72) 发明人 张如云

(74) 专利代理机构 上海正择创一知识产权代理
有限公司 31513

专利代理师 郝科名

(51) Int. Cl.

B01D 1/06 (2006.01)

B01D 1/00 (2006.01)

B01D 1/22 (2006.01)

B01D 1/12 (2006.01)

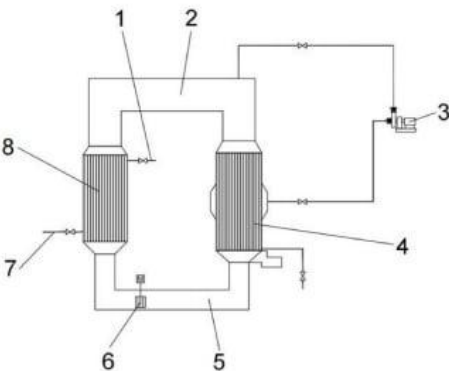
权利要求书2页 说明书5页 附图7页

(54) 发明名称

一种浓缩结晶蒸发器

(57) 摘要

本发明涉及蒸发器的技术领域,具体公开了一种浓缩结晶蒸发器,包括压缩机、降膜蒸发器和进料预热器,降膜蒸发器的上端和进料预热器的上端通过上循环管道相连通,降膜蒸发器的下端和进料预热器的下端通过下循环管道相连通;下循环管道上设置有推流搅拌器,压缩机的两端分别连接在上循环管道和降膜蒸发器上,进料预热器的侧壁上设置有凝液进口和凝液出口,凝液进口位于凝液出口的上方;降膜蒸发器包括蒸发壳体、蒸发组件、布水组件和防堵组件,蒸发组件、布水组件和防堵组件均位于蒸发壳体的内部。本发明能够增加结晶液与加热列管的接触面积,增加蒸汽经过路径的回涡流能力,充分实现蒸汽与加热列管中的换热能力。



CN 118846542 A

(19) 国家知识产权局



(12) 实用新型专利



(10) 授权公告号 CN 221933069 U

(45) 授权公告日 2024. 11. 01

(21) 申请号 202420145247.1

(22) 申请日 2024.01.21

(66) 本国优先权数据

202323430226.9 2023.12.15 CN

(73) 专利权人 刘向东

地址 421000 湖南省衡阳市雁峰区打线坪
68号世纪名城

(72) 发明人 刘向东 刘文龙 刘瀚文 胡文虎

(74) 专利代理机构 衡阳市科航专利事务所(普
通合伙) 43101

专利代理师 刘政旺

(51) Int. Cl.

B01D 1/00 (2006.01)

B01D 1/06 (2006.01)

(ESM) 同样的发明创造已同日申请发明专利

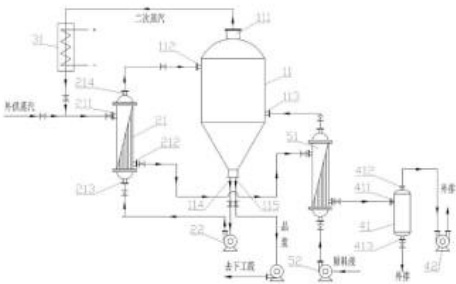
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 实用新型名称

二次蒸汽再加热蒸发器

(57) 摘要

二次蒸汽再加热蒸发器,包括蒸发容器、换热装置、加热装置和负压装置;蒸发容器外部设有二次蒸汽出口;换热装置上设有蒸汽入口和蒸汽出口,其利用加热装置提供的热量加热蒸发容器内腔中的料液;加热装置设在蒸汽入口与二次蒸汽出口之间,其基于非压缩方式加热二次蒸汽以及提供蒸发容器首次产生二次蒸汽所需热量;负压装置与蒸汽出口连通,其用于拉动二次蒸汽顺着蒸发容器-换热装置-负压装置的路径流动。本实用新型的原理是对二次蒸汽再加热,从而作为换热的加热能源再次利用,从而实现溶液的蒸发浓缩,二次蒸汽升高的热源来自加热装置,蒸汽推动力来自于负压装置,相比传统的MVR蒸发器更节能、更稳定、投资少且温差大。



Додаток Г
Публікації автора

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						104
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

студентки кафедри машин та апаратів хімічних та нафтопереробних
виробництв

ВОВК МАРГАРИТИ ЄВГЕНІЇВНИ

1. Вовк М. Є., Власенко Н. Є., Коваленко І. В. (2021). Перспективи очищення стічних вод від іонів цинку. The 6th International scientific and practical conference —Topical issues of modern science, society and education|| (December 26-28, 2021) SPC —Sci-conf.com.ua||, Kharkiv, Ukraine. 2021. 1889 p.
2. Vovk M. Y. Application of the lagrange equation to study the movement of a mathematical pendulum/ Vovk M. Y., Shtefan N.I. // Збірник тез доповідей ХХІІІ міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання" (3 травня 2023 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2023. – 219 с.
3. Вовк М. Є. Струменевий насос/ Вовк М. Є., Степанюк А.Р. // Збірник тез доповідей ХХХІІ всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Обладнання хімічних виробництві підприємств будівельних матеріалів" 3 травня 2023 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2023. – 186 с.
4. Вовк М. Є. Особливості використання методів обчислювальної гідродинаміка для моделювання нанофільтрації / Вовк М. Є., Гулієнко С.В. // Збірник тез доповідей ХХХІІ всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Обладнання хімічних виробництві підприємств будівельних матеріалів" 3 травня 2023 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2023. – 186 с.
5. Вовк М. Є. Конструкції бурових головок / Вовк М. Є., Степанюк А.Р. // О 16 Збірник тез доповідей ХХХІІІ всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Обладнання хімічних виробництві

					ЛН11.06534.2.001 ПЗ	Арк.
						105
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підприємств будівельних матеріалів” 15 грудня 2023 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2023. – 158 с.

6. Vovk M. Y. The modernization of the evaporator of evaporator for seawater desalination plant with brine utilization / Vovk M. Y. Hulienko S.V. // Збірник тез доповідей XXXV всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених ”Обладнання хімічних виробництві підприємств будівельних матеріалів” 28 листопада 2024 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2024. – 103 с.
7. Вовк М. Є. Модернізація випарного апарата установки опріснення морської води з утилізацією концентрату / Вовк М. Є., Гулієнко С.В. // Збірник тез доповідей XXXVI всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених ”Обладнання хімічних виробництві підприємств будівельних матеріалів” 28-29 травня 2025 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2025. – 356 с.

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						106
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРСПЕКТИВИ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ВІД ІОНІВ ЦИНКУ

Вовк Маргарита Євгеніївна

Студентка Інженерно-хімічного факультету

Власенко Наталія Євгенівна

к.х.н., доцент,

Коваленко Ірина Володимирівна

к.х.н., доцент

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Вступ. Одним із найбільших джерел забруднення навколишнього середовища є гальванічне виробництво. Середовище забруднене токсичними іонами важких металів, зокрема іонами цинку [1]. Цинкування використовують для захисту від корозії різних сталевих і чавунних деталей, а також при виробництві труб [2,3]. Допустима концентрація води становить 1,0 мг/дм³, в той час як вміст цинку в стічних водах гальванічних цехів становить 60-80 мг/дм³. Очищення цинковмісних стічних вод є скрадним та важливим екологічним процесом.

Метою роботи є вивчення перспективи очищення стічних вод від іонів цинку та важких металів для подальшого застосування в промисловості. Порівняння хімічних та економічних показників.

Методи та засоби дослідження. Відображення відомостей про види промислових стоків. Порівняння властивостей з метою виявлення якісних і кількісних відмінностей. Узагальнення отриманих результатів

Результати та обговорення. Очищення води від іонів цинку може бути проведене хімічним, електрохімічним та фізико-хімічним способами. Вони дорогі і не завжди забезпечують високий рівень очищення. Спосіб флотаційного вилучення Zn (II) із водних розчинів у вигляді осадів є енергозалежним і потребує наявності громіздких флотаційних машин та відстійників, де відбувається руйнування зібраного продукту. Підвищення вимог до якості води в стічних водах змушує шукати екологічно чисті та

					ЛН11.06534.2.001 ПЗ	Арк.
						107
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

УДК 531/534

APPLICATION OF THE LAGRANGE EQUATION TO STUDY THE
MOVEMENT OF A MATHEMATICAL PENDULUM
ЗАСТОСУВАННЯ РІВНЯННЯ ЛАГРАНЖА ДРУГОГО РОДУ
ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ МАТЕМАТИЧНОГО
МАЯТНИКА

Student Vovk M., Doctor of philosophy, Associate Professor Shtefan N.I.
студент Вовк М.Є., к.т.н., доцент Штефан Н. І.

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Annotation. The work is devoted to the study of the question of obtaining the equation of motion of a mathematical pendulum using the Lagrange equation of the second kind. The mathematical pendulum is considered as an example of a holonomic system. The corresponding Lagrange function is made. Differentiating this function accordingly, we compose the Lagrange equation of the second kind. Solving this equation determines the equation of motion of the mathematical pendulum.

Анотація. Робота присвячена дослідженню питання про отримання рівняння руху математичного маятника із застосуванням рівняння Лагранжа другого роду. Математичний маятник розглядається як приклад голономної системи. Складено відповідну функцію Лагранжа. Диференціюючи цю функцію відповідним чином, складаємо рівняння Лагранжа другого роду. Розв'язання цього рівняння визначає рівняння руху математичного маятника.

УДК 66.532

СТРУМЕНЕВИЙ НАСОС

студента Вовк М.Є., доц., к.т.н. Степанюк А.Р.,

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

АНОТАЦІЯ: Розглянуто принцип роботи струменевого насоса, його переваги та недоліки, а також основні використання у промисловості.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СТРУМЕНЕВИЙ НАСОС, ПЕРЕКАЧУВАННЯ РІДИН, ПРОМИСЛОВІСТЬ, В'ЯЗКІСТЬ, АБРАЗИВНІ ЧАСТКИ, ЕФЕКТИВНІСТЬ.

JET PUMP

Student Vovk M. Y., associate professor, Ph.D. Stepaniuk A.R.

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

ABSTRACT: The working principle of a jet pump, its advantages and disadvantages, as well as its main industrial applications are discussed in this paper.

KEY WORDS: JET PUMP, LIQUID TRANSFER, INDUSTRY, VISCOSITY, ABRASIVE PARTICLES, EFFICIENCY.

Струменевий насос – це пристрій, який використовується для перекачування рідини за допомогою струменя води або повітря. Цей тип насосів широко використовується в різних галузях промисловості, включаючи хімічну, нафтову та газову промисловість, а також в системах водопостачання. Вони також відомі як ежекторні насоси. Струменеві насоси менш ефективні, ніж типові відцентрові насоси. Вони функціонують на

УДК 66.081.63

**ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ
ГІДРОДИНАМІКА ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ НАНОФІЛЬТРАЦІЇ**

студентка Вовк М.Є., доц., к.т.н. Гулієнко С.В.

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

Анотація: Розглянуто основні підходи щодо застосування методів обчислювальної гідродинаміки для моделювання процесу нанофільтрації. Визначено особливості застосовування спеціалізованого програмного забезпечення для реалізації CFD методів у розглянутому випадку.

Ключові слова: НАНОФІЛЬТРАЦІЯ, МОДЕЛЮВАННЯ, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ГІДРОДИНАМІКА, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.

**THE SPECIFIC ASPECTS OF APPLICATION OF THE
COMPUTATIONAL HYDRODYNAMICS METHODS FOR
NANOFILTRATION SIMULATION**

Student Vovk M. Y., associate professor, Ph.D. Huliienko S.V.

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

Abstract: The main approaches about application of computational fluid dynamics for nanofiltration process are considered. The specific aspects of using of specialized software for CFD realization in considered case are determined.

Keywords: NANOFILTRATION, SIMULATION, COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS, SOFTWARE

Нанофільтрація – це баромембранний процес, який за своєю природою проміжний між зворотним осмосом та ультрафільтрацією. На

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

КОНСТРУКЦІЇ БУРОВИХ ГОЛОВОК

студентка Вовк М.Є., доц., к.т.н. Степанюк А.Р., асистент Вартанян І.В.,
асистент Рябих Д. М.

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

Анотація: Дослідимо конструкції бурових головок, які є важливими компонентами бурового обладнання, використовуються в гірництві, будівництві, нафтогазовій промисловості та геологічних дослідженнях. Розглянемо основні функції бурових головок, їх конструкційні елементи та різні типи бурових головок, що використовуються для різних завдань. .

Ключові слова: бурові головки, конструкція, буріння, будівництво, нафтогазова промисловість.

DRILL BIT DESIGNS

Student Vovk M. Y., associate professor, Ph.D. Stepaniuk A.R.

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

Abstract: We will explore drill bit designs, which are essential components of drilling equipment used in mining, construction, oil and gas industry, and geological research. We will examine the main functions of drill bits, their structural elements, and various types of drill bits used for different tasks.

Key words: drill bits, design, drilling, construction, oil and gas industry.

Конструкції бурових головок є важливою складовою бурового обладнання та виконують ключову роль у видобутку корисних копалин і

					ЛН11.065342.001 ПЗ	Арк.
						111
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

УДК 66.06

**THE MODERNIZATION OF THE EVAPORATOR OF EVAPORATOR FOR
SEAWATER DESALINATION PLANT WITH BRINE UTILIZATION**

student Vovk M.Y., associate professor, Ph.D. Hulienko S.V.

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

**МОДЕРНІЗАЦІЯ ВИПАРНОГО АПАРАТА УСТАНОВКИ ОПРІСНЕННЯ
МОРСЬКОЇ ВОДИ З УТИЛІЗАЦІЄЮ КОНЦЕНТРАТУ**

студентка Вовк М.Є., доц., к.т.н. Гулієнко С.В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: Розглянуто методи опріснення води та важливість модернізації
випарного апарату, наведено технологічну схему.

Ключові слова: опріснення, морська вода, випарний апарат, зворотній
осмос, дистиляція

Abstract: The methods of desalination of water and the importance of
modernizing evaporation apparatus are discussed, and a technological scheme is
presented.

Keywords: desalination, seawater, evaporation apparatus, reverse osmosis,
distillation.

The seawater desalination plant is designation for obtaining of fresh water from
seawater by removing of salts and minerals. The process product is the fresh water

13

					<i>ЛН11.065342.001 ПЗ</i>	Арк.
						112
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

УДК 66.06

МОДЕРНІЗАЦІЯ ВИПАРНОГО АПАРАТА УСТАНОВКИ ОПРІСНЕННЯ МОРСЬКОЇ ВОДИ З УТИЛІЗАЦІЄЮ КОНЦЕНТРАТУ

студентка Вовк М.Є., доц., к.т.н. Гулієнко С.В.,

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: Розглянуто два патенти, які описують методи модернізації випарного апарату, проаналізовано принцип дії та наведено переваги та недоліки.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МОДЕРНІЗАЦІЯ, ВИПАРНА УСТАНОВКА, АПАРАТ, МОРСЬКА ВОДА, ПРІСНА ВОДА, ВОДЕНЬ.

Розглянемо патент US12049410B2[1], який описує адсорбційну опріснювальну систему з використанням багатоефективного випарного апарату.

Це система, яка відокремлює воду від морської води шляхом випаровування та відділення вологості від морської води через випарник, адсорбує пару на поверхні силікагелю в процесі адсорбції, десорбує пару з поверхні силікагелю в процесі десорбції, а потім конденсує десорбовану пару в рідкий стан шляхом подачі пар до конденсатора, таким чином збираючи прісну воду.

Система має багатофункціональний випарник, який виробляє та забезпечує пару високого тиску та пару низького тиску через перший блок випаровування та другий блок випаровування, які включають в себе безліч послідовних випарників та три шари адсорбції та десорбції, завдяки чому можна компенсувати коефіцієнт продуктивності, максимально виробляти прісну воду та використовувати охолоджену воду, яка виробляється як побічний продукт у першому випарному блоку та другому випарному блоку, як

161