

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

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри МАХНВ

_____ Андрій СТЕПАНЮК
(підпис)

“ _ ” _____ 2023 р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ
на здобуття ступеня бакалавра

Напрямок підготовки: 13 – Механічна інженерія

Спеціальність: 133 – Галузеве машинобудування

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

**на тему: Модернізація установки виробництва амофосу з розробкою
випарного апарата**

Виконав студент IV курсу, групи ЛН-91

Артем ФУРМАН

(підпис)

Керівник проекту

асистент Григорій ПОДИМАН

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

(підпис)

Консультанти:

з охорони праці

доцент, к.т.н. Андрій КОВТУН

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

(підпис)

з економіки

доцент, к.т.н. 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 проекті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____ Артем ФУРМАН

Київ – 2023

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

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальності: 133 Галузеве машинобудування

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Андрій СТЕПАНЮК

“__” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Фурману Артему Володимировичу

1. Тема проекту: Модернізація установки виробництва амофосу з розробкою випарного апарата.

Керівник проекту асистент Григорій Подиман.

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

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

3. Вихідні дані до проекту: продуктивність по сировині $G=15\text{кг/с}$; початкова масова концентрація – 0,08; кінцева масова концентрація 0,45.

4. Зміст пояснювальної записки: а) основна частина: розглянути існуючі конструкції випарних апаратів, обґрунтувати вибір апарата; здійснити розрахунки, що підтвердять працездатність та надійність конструкції: параметричний, конструктивний та гідравлічний, розрахунки на міцність і

надійність елементів конструкції; виконати складальне креслення випарного апарату та його основних складальних одиниць і деталей; розробити рекомендації щодо монтажу та експлуатації апарата; здійснити оцінку рівня стандартизації та уніфікації розробки;

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

в) рекомендації щодо монтажу та експлуатації: надати рекомендації щодо монтажу та експлуатації випарного апарату.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов’язкових креслень, плакатів, презентацій тощо): технологічна схема виробництва – А1, складальне креслення: випарного апарату – А0, сепаратор – А1, плакати: 3D модель трубної решітки – А3. До складальних креслень виконати специфікації.

6. Консультанти розділів проекту:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Ковтун А. І. доцент, к.т.н.		
Економіка	Гулієнко С.В. доцент, к.т.н.		

Дата видачі завдання: 16 квітня 2022 р.

Студент

Керівник дипломного проекту

(підпис)

(підпис)

Артем ФУРМАН

Григорій ПОДИМАН

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Терміни виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	2	3	4
1	Узгодження теми, вихідних даних, визначення джерел інформації. Обґрунтування актуальності проекту.	16.09.22	
2	Опис установки. Схема установки.	01.11.22	
3	Підготовка матеріалів до публікації тез доповідей щодо особливостей роботи технологічної схеми.	16.11.22	
4	Вибір і опис конструкції випарного апарату. Технічна характеристика установки, апарату. Добір матеріалів.	12.12.22	
5	Підготовка матеріалів до публікації тез доповідей щодо вибору апарату з урахуванням аналізу існуючого обладнання.	28.02.23	
6	Параметричний розрахунок: визначення основних розмірів апарату. Гідравлічний розрахунок випарного апарату.	13.03.23	
7	Розробка складальних креслень апарату і його складальних одиниць. Добір конструктивних параметрів конструктивних елементів апарату	20.03.23	
8	Розрахунки на міцність. Розробка алгоритмів та програм розрахунку.	15.04.23	
9	Уточнення графічної частини проекту та специфікацій	25.04.23	
10	Обґрунтування економічної доцільності модернізації	13.05.23	
11	Розробка вимог до апарату з питань охорони праці	19.05.23	
12	Оформлення пояснювальної записки. Перевірка відповідності проекту діючим нормам за змістом і оформленням. Підготовка до захисту. Складення плану викладення доповіді, окремих питань	25.05.23	
13	Попередній захист проекту	01.05.23	
14	Корегування проекту за результатами попереднього захисту. Отримання рецензії, відзиву. Підготовка до захисту	05.06.23	

Реферат

УДК 66.048.3

Модернізація уставної виробництва амофосу з розробкою випарного апарата: Дипломний проект освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» /КПІ ім. Ігоря Сікорського; Керівник Г.С. Подиман. – К., 2023. – 111 с.: Виконавець – А.В. Фурман – Бібліогр.: 95 с. Пояснювальна записка складається із вступу, 8 розділів, висновків, переліку посилань із 22 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 111 с. основного тексту, 14 таблиці та 4 додатків

Метою проекту є проектування і розробка випарного апарату з природньою циркуляцією для концентрації суспензії амофоса.

Поставлена задача досягається шляхом виконання параметричного, конструктивного та гідравлічного. А також розрахунків на міцність і стійкість конструкції основних деталей апарата, розрахунку штуцерів. Виконано аналіз результатів та зроблено висновки. Наведено список використаної літератури.

Графічна частина проекту містить два креслення формату А1: технологічну схему виготовлення амофосу та складальне креслення випарного апарату, а також специфікацію до складального креслення випарного апарату.

АМОФОС, ВИПАРНИЙ АПАРАТ, СУСПЕНЗІЯ, ДОБРИВО.

Abstract

UDC 66.048.3

Modernization of the articles of association for the production of amorphous with the development of an evaporation apparatus: Diploma project of the educational and qualification level "Bachelor" / KPI named after Igor Sikorskyi; Head G.S. up and down - K., 2023. - 111 p.: Performer - A.V. Furman - Bibliography: 95 p. The explanatory note consists of an introduction, 8 chapters, conclusions, a list of references from 22 items. The total volume of work is 111 p. main text, 15 tables and 4 appendices

The goal of the project is the design and development of an evaporation apparatus with natural circulation for the concentration of amorphous suspension.

The set task is achieved by performing parametric, constructive and hydraulic. As well as calculations on the strength and stability of the design of the main parts of the device, calculation of fittings. Analysis of the results was performed and conclusions were drawn. A list of used literature is provided.

The graphic part of the project contains two drawings in A1 format: a technological scheme for the production of amorphous and an assembly drawing of the evaporation apparatus, as well as a specification for the assembly drawing of the evaporation apparatus.

AMOPHOS, EVAPORATOR, SUSPENSION, FERTILIZER.

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

на здобуття ступеня бакалавра

Напрямок підготовки: 13 - Механічна інженерія

Спеціальність: 133 - Галузеве машинобудування

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

на тему: Модернізація установки виробництва амофосу з розробкою
випарного апарата

Київ – 2023

Зміст

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	9
Вступ.....	13
1 Призначення та область використання випарного апарату.....	12
1.1 Опис технологічного процесу	12
1.2 Вибір апарата та його місце в технологічній схемі.....	13
2 Технічна характеристика апарата.....	15
3 Опис та обґрунтування конструкції випарного апарату	16
3.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей	16
3.2 Вибір матеріалів елементів конструкції апарата	17
3.3 Порівняння основних показників розробленої конструкції апарата з аналогами	18
3.4 Патентний огляд конструкції апарата.....	20
4 Охорона праці	29
5 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції апарата.....	34
5.1 Визначення основних геометричних розмірів апарата	34
5.2 Конструктивний розрахунок	44
5.3 Розрахунок штуцерів	48

					ЛН01 06524.2.001 ПЗ				
Зм	Лис	№ докум.	Підпис	Дат	Модернізація установки виробництва амофосу з розробкою випарного апарата	Літ	Лист	Листів	
Разроб	Фурман								
Перев	Подіман						8	122	
						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ, МАХНВ			
Н.Контр.	Новохот								
Затв.									

5.4 Розрахунок товщини циліндричної обичайки навантаженої внутрішнім тиском	51
5.5 Розрахунок товщини циліндричної обичайки навантаженої зовнішнім тиском	53
5.6 Розрахунок еліптичного днища	56
5.7 Розрахунок конічного днища	58
5.8 Розрахунок фланцевого з'єднання	60
5.9 Розрахунок несучої спроможності вертикальних циліндричних обичайок від дії реакції опорних лап	70
5.10 Розрахунок товщини теплової ізоляції	76
6 Рекомендації щодо виготовлення, монтажу та експлуатації	79
7 Рівень стандартизації та уніфікації	82
8 Техніко-економічне обґрунтування модернізації	83
Висновки	87
Conclusions	89
Перелік посилань.....	91
Додаток А Документація до патентного дослідження.....	91
Додаток Б Патенти, які використані в патентному дослідженні.....	96
Додаток В Програма розрахунку товщини стінки циліндричної обичайки.....	100
Додаток Г Публікації автора.....	106

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів

Умовні позначення:

h – висота, м;

D, d – діаметри, м;

δ – товщина, м;

f – площа поперечного перерізу, м²;

G – масова витрата, кг/с;

χ – концентрація, % (мас.);

Q – теплове навантаження, Вт;

P – тиск, Па;

T – температура, К;

r – питома теплота пароутворення, Дж/кг;

K – коефіцієнт теплопередачі, Вт/м²·К;

ρ – густина, кг/м³;

c – питома теплоємність, Дж/(кг·К);

α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К);

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

σ – поверхневий натяг, Н/м.

Критерії:

Nu – критерій Нуссельта;

Re – критерій Рейнольдса;

Pr – критерій Прандтля.

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
						9
Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Вступ

З сучасними темпами розвитку людства та збільшення популяції, збільшуються потреби людей у продуктах харчування. В зв'язку з цим безперечним плюсом було створення добрив для збільшення врожайності, та збільшення гарантійполучити добрий врожай.

Одним з найпопулярніших добрив є амофос. Його виробництво та схему буде оглянуто в цьому звіті. Амофос є одним з найзатребуваніших добрив у світі. Це означає що його огляд є надзвичайно актуальною темою.

При виготовленні амофосу на початку виробництва потребують використання випарних установок для збільшення концентрації амофосної суспензії. Тому випарні апарати є дуже корисні та потрібні на виробництві амофосу та інших добрив.

Зазвичай концентрацію суспензій потрібно збільшувати мінімум до 40% щоб добриво мало якийсь ефект на рослини. Для цього зазвичай використовують не один апарат а декілька. В цьому звіті буде оглянута трьохкорпусна випарна установка та зроблений детальний параметричний розрахунок трьохкорпусної випарної установки, та обраний стандартна випарна установка.

Метою роботи є проектування та модернізація випарного апарату, який призначений для концентрації розчину. Зменшуючи кількість зайвої вологи у суспензії з подальшою передачею її в наступні апарати по схемі, виготовляється добриво.

В роботі описана конструкція випарного апарату та його основні складові одиниці, вибраний матеріал для його виготовлення, порівняні основні показники розробленої конструкції з аналогами, проведено патентне дослідження та наведені заходи по охороні праці; виконане техніко-економічне обґрунтування модернізації апарату; розроблене креслення технологічної схеми, складального креслення випарного апарату, сепаратора та створена 3д модель трубної решітки.

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
						10
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		

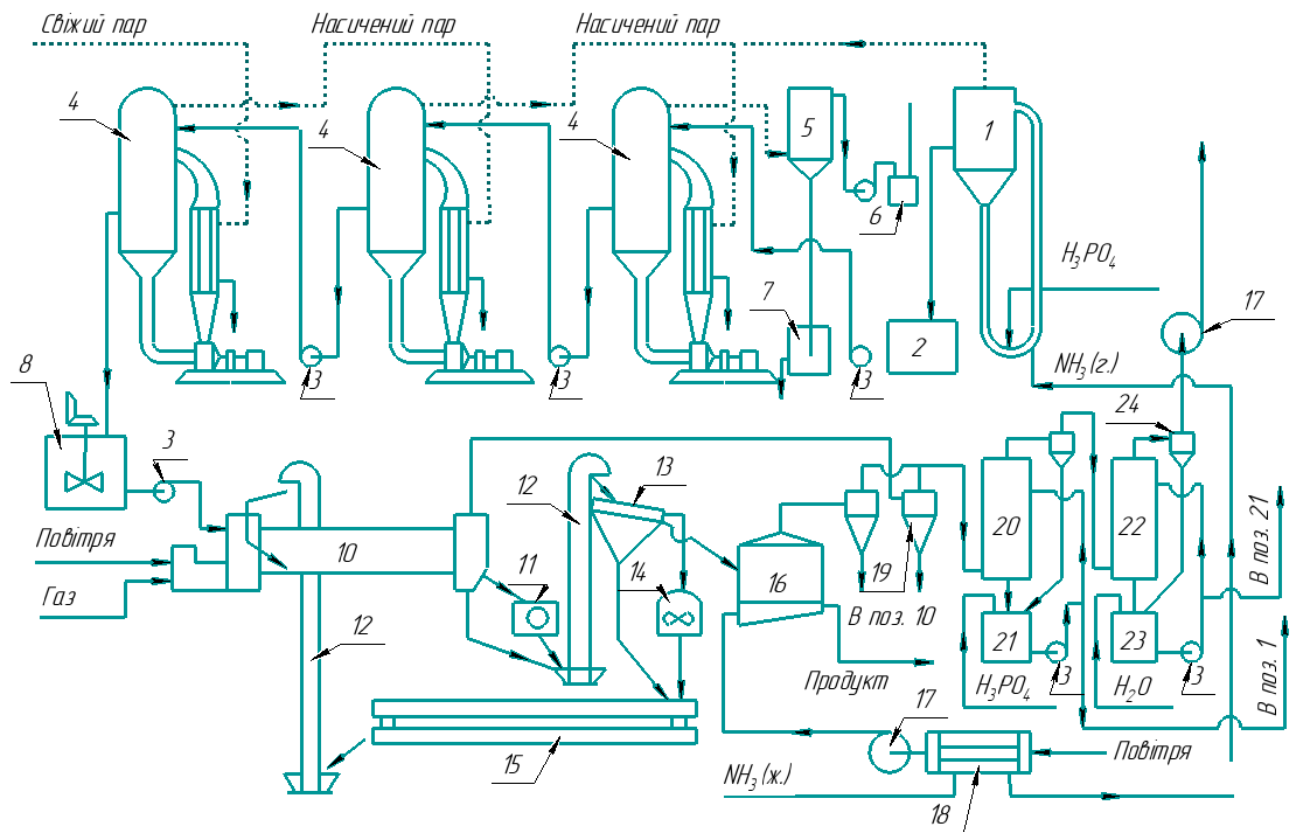
Завдання на проектування одержане під час проходження виробничої практики в інституті газу НАН України 17.04. 2023 р.

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
						11
Змн.	Адк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

1 Призначення та область використання випарного апарату

1.1 Опис технологічного процесу

На рисунку 1.1 зображено технологічну схему виготовлення амофосу з



використанням трьохкорпусної випарної установки.[1]

1 – Апарат САІ; 2- Збірник; 3 - Відцентрові насоси; 4 – Випарники; 5 - Барометричний конденсатор; 6 - Вакуумний насос; 7 – Барометричний бак; 8 – Збирач відпареною мякоті; 9 – Піч; 10 – Апарат БГС; 11 – Молоткова дробарка; 12 – Елеватор; 13 – Гуркіт; 14 – Варкова дробарка; 15 – Вібротранспортер; 16 – Холодильник КС; 17 – Вентилятор; 18 - Випарник рідкого аміаку (охолоджувач повітря); 19 – Циклони; 20 - Кислотний промивач газу; 21,23 - Циркуляційні збірники; 22 – Промивач газу; 23 – Бризкоуловлювачі

Рисунок 1.1 – Технологічна схема виготовлення амофосу

Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат

ЛН91.065342.001 ПЗ

Адк.

12

На схемі ми можемо бачити створення амофосу з проміжною упаркою нейтралізованої суспензії у багатокорпусній вакуум-випарній установці.

Фосфорну кислоту (20-29% P_2O_5) нейтралізують газоподібним аміаком до $pH = 5 - 5,5$ в апаратах САІ (час перебування 2-3 хв). При цьому, вода що випарувалась переходить у теплообмінник, там вона конденсується та цим вона нагріває кислоту. Далі амофосна суспензія ($NH_3 : H_3PO_4 = 1,1$) концентрується у випарній установці з трьох випарних апаратів до залишкової вологості 18-25%; 1-й корпус працює під вакуумом, 2-й – при атмосферному, 3-й – при підвищеному тиску. Початковий чистий пар (0,3-0,6 МПа) подають у 3-й корпус, а 1-й та 2-й використовують вторрину пару. Далі суспензію з температурою 112-115°C висушують і одночасно гранулюють в апаратах БГС.[2]

Після минулих етапів продукт охолоджують та розсіюють та апарат гуркіт передає продукт в розмірах менше 1 мм назад до апарату БГС як зовнішній ретур. Загальна кількість ретуру (дрібниця та деяка частина стандартного продукту) не перевищує 1-2-кратний. Велику фракцію направляють на дроблення, а товарну охолоджують до 40-45 ° C і відправляють на склад.[2]

1.2 Вибір апарата та його місце в технологічній схемі

Випарні апарати є важливою складовою створення добрив. Вони використовуються для концентрації розчинів для подальшого створення продукції. Випарна установка знаходиться на початковій стадії схеми виробництва амофосу та використовується для концентрації амофосної суспензії і подальшої сушки та передачі в апарати БГС.

Основне призначення випарного апарату в процесі виробництва амофосу полягає у випаруванні розчину фосфатних сировин з мінеральними домішками та водою, для отримання концентрованого розчину фосфатів, який після подальшої обробки перетворюється на кінцевий продукт - амофос. Під час випаровування

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ доквм.	Підпис	Дат		13

лишньої вологи, концентрація підвищується. Для підвищення концентрації до потрібного рівня використовувати установку з декількох випарних апаратів.

Для найбільшої продуктивності у виготовленні амофосу використаємо трьохкорпусну випарну установку. Випарна установка забезпечить нам потрібну концентрацію амофосної суспензії.

На нашій схемі він знаходиться під номером 4 та служить для концентрації Амофосної суспензії в системі з трьох однокамерних випарних апаратах до залишкової вологості близько 18-25%. Перший корпус працює під вакуумом, другий при атмосферному тиску, а третій під надлишковим тиском. Система з випарних апаратів стоїть на другому місці по використанню в схемі.[2]

В модернізованому випарному апараті можна використовувати ефективні системи контролю та регулювання температури, тиску, концентрації розчину та інших параметрів. Також можна використовувати нові матеріали для конструкції випарного апарата, що дозволить зменшити витрати на обслуговування та ремонт обладнання.

Для спрощення розрахунку оберемо будемо розраховувати випарний апарат першого типу з природньою циркуляцією та виносною гріючою камерою.

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		14

2 Технічна характеристика апарата

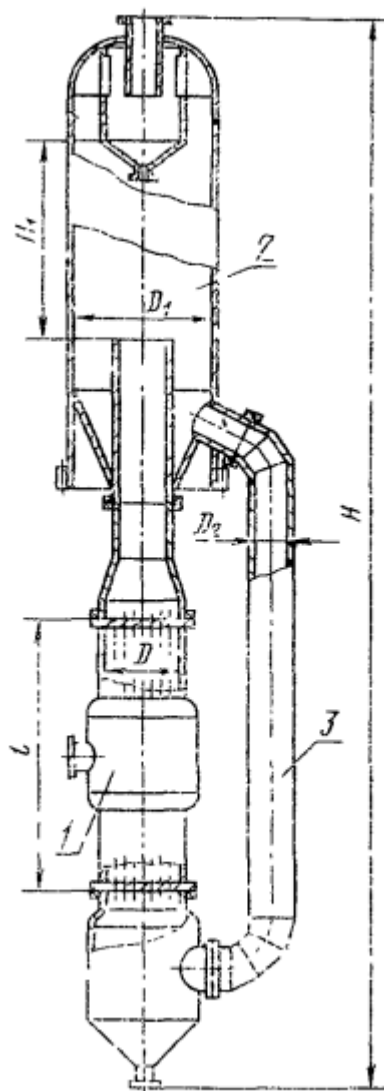
Продуктивність по випареній волозі, кг/с	15;
Площа поверхні теплообміну, м ²	224;
Максимальний тиск в апараті, МПа:	
- міжтрубний простір	0,7;
Максимальна температура в апараті, К(°С)	438,15 (165);
Маса випарного апарата, кг	15000;
Габарити випарного апарату, мм:	
- висота	16000;
- ширина	3987;
Середовище :	
- в трубному корпусі	амофосна суспензія;
- в міжтрубному просторі	насичена водяна пара.

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		15

3 Опис та обґрунтування конструкції випарного апарату

3.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей

Схема випарного апарату представлена на рисунку 3.1.



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

Рисунок 3.1 – Випарний апарат з природною циркуляцією зі співвісною гріючою камерою

Випарний апарат складається з трьох основних частин, це гріюча камера 1, в якій нагрівається розчин, зазвичай виконана як звичайний кожухотрубний

Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат

ЛН91.065342.001 ПЗ

Адк.

16

теплообмінник, сепаратор 2, ємність для відділення крпель рідини від вторинного пару, та циркуляційної труби по якій проходить речовина або пар.

Даний апарат ро зрахований що гріюча камера буде розміщена на тій же вісі що і сепаратор. Данна конструкція забезпечує зменшення габаритів в ширину апарату. Співвісне розміщення елементів випарного апарату дозволяє зекономити на металоємності та підвищити міцність апарату за рахунок єдиної конструкції. Конструкція апарату дозволяє в любий момент обслуговувати різні частини апарату за допомогою люків які розміщені у найважливіших місцях. Апарат першого типу та третього виконання дозволяє зекономити місце на виробництві за рахунок розміщення його вертикально та його конструкції. Обслуговування апарату може здійснюватися або на різних поверхах або за домогою допоміжного обладнання.

Конструкція апарату передбачає три основні частини для концентрування різних розчинів. Перша це гріюча камера в яку подається гарячий теплоносій та нагріває труби з розчином який потрібно концентрувати до потрібної температури. Лишня волога випаровується та відводиться через верхівку сепаратора як вторинний пар в інший випарний апарат та виконує роль теплоносія для гріючої камери наступного випарного апарату. Ця схема повторюється потрібну кількість раз, для забезпечення потрібної концентрації.

В сепараторі розділяється пар та розчин. Пар йде в наступний апарат, а розчин поступає у вивантажувальну камеру.

3.2 Вибір матеріалів елементів конструкції апарата

Матеріал для випарного апарату та його елементів повинен задовільняти низкі параметрів задля забезпечення безпеки на виробництві та попередити різні пошкодження, а також для довговічності виробництва. Матеріал для апарату повинен задовільняти таким параметрам: міцність, корозійна стійкість, теплофізичні властивості, вартість, здатність до зварювання, легкість обробки.

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		17

Для виготовлення випарних апаратів, одним з найважливіших показників є корозійна стійкість матеріалу, та його механічна міцність при достатньо високих температурах. Найкраще відповідають даним вимогам нержавіючі високолеговані хромонікелеві сталі. Вони є стійкі до корозії та агресивних середовищ, жаротривкі, мають високу міцності, добре зварюються.

Розчин фосфатної кислоти не є сильно отруйним, але потрібно уникати контакту з ним. Вона також має невисоку корозійну активність яка підвищується з підвищенням температури, від час виробництва добрив є недопустимим виникнення корозії, для її запобігання всі складальні одиниці які контактують з продуктом та паром будуть виготовлені з нержавіючої корозійностійкої сталі 12X18H10T ГОСТ 28759.2-90.

Для інших деталей апарату припустимим буде обрати відносно дешеву сталі Ст3сп ГОСТ 380-94.

Болти будуть виготовляватися з вуглецевої сталі марки 35 Х ГОСТ 4014-71, які використовуються для деталей машин під тиском та з використанням високих температур.

Шайби виготовляються із сталі Ст3 ГОСТ 10450-78.

Прокладки виготовляються із пароніту ПОН-1 ГОСТ 28759.6-90; використовуються при температурі 73...673 К та умовному тиску до 2,5 МПа, тобто задовольняє вимогам даного апарата.

3.3 Порівняння основних показників розробленої конструкції апарата з аналогами

Існує кілька аналогів випарного апарату з природньою циркуляцією і винесеною гріючою камерою, але кожен з них має свої особливості.

Обираючи випарний апарат потрібно опиратися на ефективність його роботи відносно затрат на його експлуатацію. Відповідно потрібно обрати випарний апарат який буде потребувати менше енергії та матеріалів, це ідеальний

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		18

варіант. Але рідко можна обрати саме ідеальний варіант. Тому приходится чимось жертвувати.

В данному випадку в апараті буде висока металоємність, апарат має великі габарити та винесену гріючу камеру що збільшує витрати на створення схеми виробництва амофосу. Але в перспективі трьохкорпусна випарна установка повинна себе окупити враховуючи що вона працює на природній циркуляції що економить ресурси при використанні та виготовленні продукції.

Порівняння основних показників обраної конструкції з аналогами описані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняння основних показників конструкції з аналогами

Основні технологічні показники	Випарний апарат з природною циркуляцією та винесеною гріючою камерою	Випарний апарат з вимушеною циркуляцією та винесеною гріючою камерою	Випарний апарат з внутрішньою нагрівальною камерою	Випарний апарат з підвісною нагрівальною камерою	Випарний апарат зі співвісною гріючою камерою та природньою циркуляцією
Продуктивність (1 – 5)	4	5	3	3	5
Металоємність (1 – 5)	3	4	5	4	5
Упарення (1 – 5)	5	4	3	3	5

Габарити (1 – 5)	3	3	4	4	4
---------------------	---	---	---	---	---

Продовження таблиці 3.1

Складність виготовлення, (5 – 1)	4	4	2	1	4
Енергоємність (5 – 1)	5	1	3	2	5
Сума балів	24	21	20	17	28

Є доцільним обрати саме апарат з природною циркуляцією ніж в аналогів з вимушеною циркуляцією. В аналогів з вимушеною циркуляцією збільшується продуктивність так, але за рахунок збільшення установки можна збільшити продуктивність і в природній циркуляції затративши кошти лише на початку створення цеху з виготовлення амофосу.

В обраному типі випарного апарату за рахунок охолодження циркуляційної труби початковим розчином, створюються кращі умови для природньої циркуляції у апараті. Завдяки природній циркуляції непотрібні додаткові затрати енергії на переміщення розчину. Перевагою данного апарата є економія енергії при експлуатації порівняно з іншими аналогами.

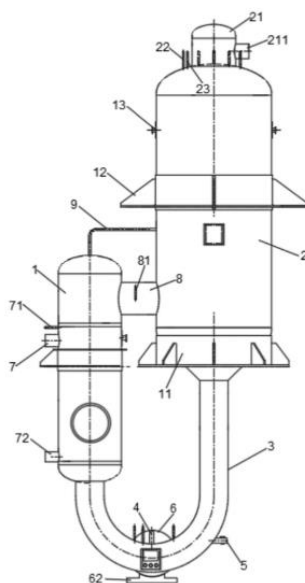
3.4 Патентний огляд конструкції апарата

Задля створення модернізації, знаходження об'єктів для порівняння та пошуку ідей був проведений патентний пошук. Основною ознакою апарата було його призначення для концентрації розчину та присутність елементів випарного

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		20

апарату таких як: гріюча камера, сепаратор, циркуляційна труба. Для докладного аналізу було обрано патенти [3-7].

У патенті [3] описаний випарний апарат (Рисунок 3.2) показана корисна модель розкриває концентраційний випарник з галузі техніки випарників, який містить нагрівальну камеру, розділювальну камеру, розташовану в правому кінці нагрівальної камери, нижню циркуляційну трубу, розташовану в нижній



частині нижнього кінця нагрівальної камери, датчик концентрації, розташований на передньому кінці вигнутої частини нижньої циркуляційної труби випускний отвір для вихідної рідини, розташований на верхньому кінці вигнутої частини нижньої циркуляційної труби, і випускний клапан, розташований на випускному отворі для вихідної рідини.

1 — нагрівальна камера; 2 — сепараційна камера; 21 — парова камера; 211 — вторинний вихід пари; 22, інтерфейс вимірювання тиску газової фази; 23 — верхнє сопло температури сепараційної камери; 3. Нижня циркуляційна труба; 4. Вихід рідини з матеріалу; 5. Вхід рідини для матеріалу; 62, посадочне сидіння; 7 — вхід для пари; 71 вихід неконденсованого газу; 72, вихід конденсату; 8 — верхня циркуляційна труба; 81 — температурний патрубок верхньої циркуляційної труби; 9 — сполучна труба; 11, друга спідниця сидіння;

Рисунок 3.2 - Концентраційний випарник

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		21

Верхній отвір труби з нижчою щільністю циркуляційної труби утворено в лівому кінці випускного отвору для рідини, що подається, нижній отвір труби з нижчою щільністю циркуляційної труби утворено в правому кінці верхнього отвору труби з нижчою щільністю циркуляційної труби, нижня температура правому кінці виходу живильної рідини, а вхід живильної рідини утворено правому кінці відігнутого положення нижньої циркуляційної труби.

Коли концентрація не досягає норми, запускається насос, матковий розчин повністю нагрівається і випаровується в циркуляційній системі, що складається з нагрівальної камери, нижньої циркуляційної труби, розділової камери та верхньої циркуляційної труби з багаторазовою циркуляцією. може бути досягнуто, кілька нагрівальних камер не потрібні, ефект концентрації покращується, після того, як концентрація досягає стандарту, випускний клапан відкривається для направлення концентрації, а функціональність покращується.

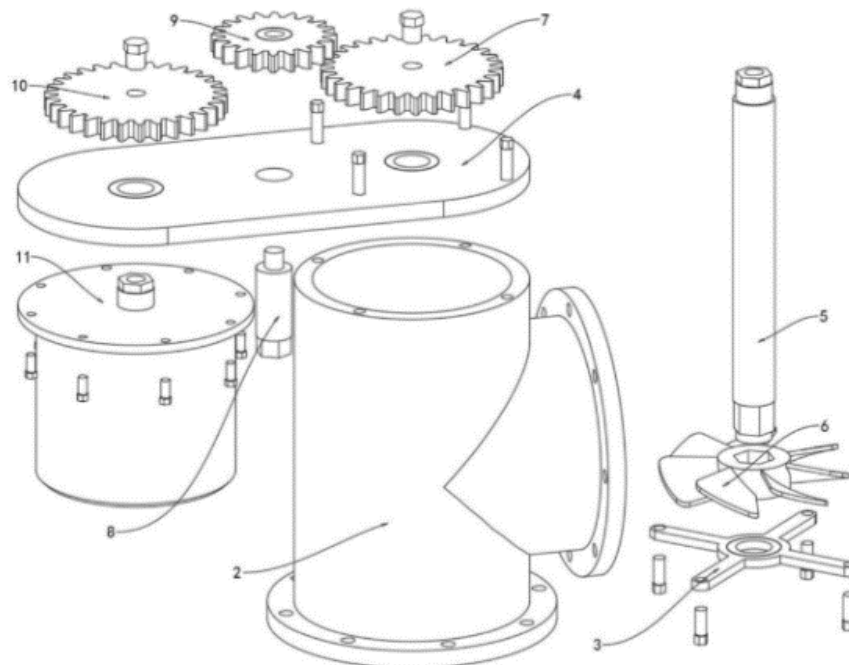
Перевагами даної конструкції є велика продуктивність за рахунок вимушеної циркуляції. Також до переваг можна додати міцність конструкції за рахунок ребер жорсткості.

Недоліком даної конструкції є велике енергоспоживання та робота лише з не сильно густими речовинами.

Корисна модель [4] є автоматичним концентраційним випарним апаратом і відноситься до галузі техніки випарних апаратів (Рисунок 3.3). Корпус пристрою забезпечений циліндром відведення пари у вертикальному напрямку, у верхньому торці циліндра відведення пари виконані чотири різьбових глухих отвори у вигляді кільцевої решітки, по зовнішньому колу розташована кільцева пластина з установочними отворами. днище паровипускного циліндра, а в нижньому торці паровипускного циліндра виконана кільцева канавка з глухими різьбовими отворами.

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		22

Циліндр стикового з'єднання з фланцевою кільцевою пластиною розташований з правого боку циліндра випуску пари, а циліндр випуску пари розташований так, що опорна рама вала, що обертається, і закрита опорна плита зручно встановлюються за допомогою болтів, а вентилятор.



2 — Паровий розрядний циліндр; 3 — Несуча рама ротора; 4 — Закрита несуча пластина; 5 — вал підшипника вентилятора; 6 — Парогазовий вентилятор; 7 — Ведена циліндрична передача; 8 — Колонка підшипника холостого ходу; 9 — середня циліндрична передача; 10 — основна циліндрична передача; 11 — вихлопний двигун.

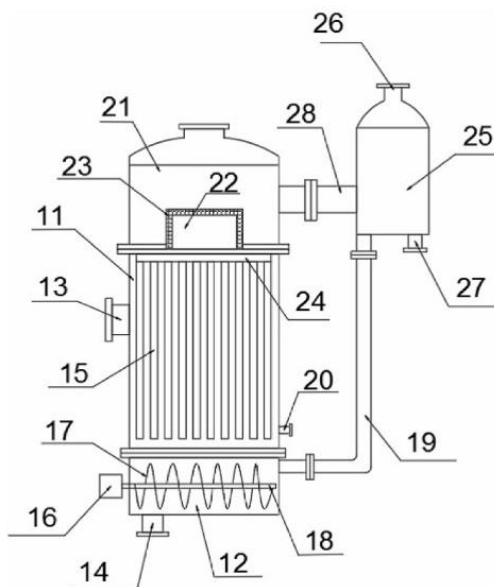
Рисунок 3.3 — Автоматичний концентраційний випарник

Підшипник вала зручно встановлюється між опорною рамою обертового вала і закритою опорною плитою через підшипник для обертання; проблеми, пов'язані з тим, що краплі води легко падають на внутрішню стінку випарної камери через те, що випарник не має допоміжних заходів з витяжки, і незручно керувати витяжним вентилятором, щоб він автоматично обертася через пар для прискорення вихлопу пар з випарної камери розчиняється .

Перевагою данної конструкції є її простота виготовлення.

Недоліком є висока металоємність, та мала продуктивність апарату великі габарити та індивідуальний підхід до монтажу.

Корисна модель[5] розкриває пристрій для швидкого концентрування(Рисунок 3.4), який містить середню частину випарника, верхню частину випарника, розташовану над середньою частиною випарника, і конвеєрну трубу, розташовану на бічній поверхні верхньої частини випарника.



11 — середня частина випарника; 12 — дно випарника; 13 — вхід пари; 14 — вхідний матеріал; 15 — труба опалення; 16 — мотор А; 17 — обертове лезо; 18 — обертовий вал; 19 — зворотна труба; 20 — вихід конденсату; 21 — верхня частина випарника; 22 — мотор; 23 — теплоізоляційний шар; 24 — фіксована нижня пластина; 25, сепаратор; 26, вторинний вихід пари; 27, вихід концентрату; 28, конвеєрна труба.

Рисунок 3.4 - Пристрій швидкої концентрації

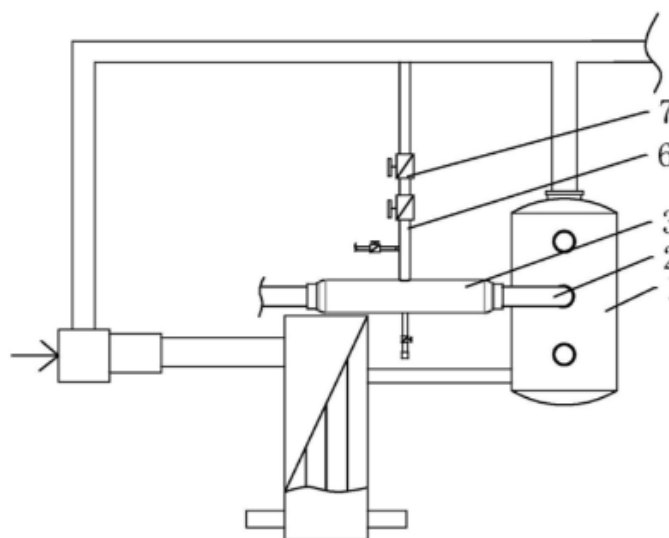
Обертовий вал може забезпечити рівномірне транспортування матеріалів у середню частину випарника, щоб уникнути накопичення матеріалів на

торцевій поверхні нагрівальної труби; Новий випарник додатково оснащений фіксованою нижньою пластиною та нагрівальними трубами з різними розмірами діаметра перетину, нагрівальні труби можуть приводитися в рух фіксованою нижньою пластиною та двигуном

В для обертання, матеріали, що надходять у середню частину випарника, можуть нагріватися та при одночасному перемішуванні уникають висихання та коксування живильної рідини після того, як живильна рідина адсорбується та прилипає до поверхонь нагрівальних труб, а термін служби випарника подовжується. Тим часом контакт між парою та живильною рідиною більш достатній.

З недоліків можна замітити не досконалу конструкцію, яку можна покращити, для економії енергії.

Корисна модель[6] розкриває концентраційний пристрій Mesona chinensis, який відноситься до технічної галузі концентраційних пристроїв(Рисунок3.5), і використовує технічну схему, згідно з якою концентраційний пристрій Mesona chinensis містить потрійний випарник і структуру попереднього нагрівання, розташовану на передньому кінці потрійного випарника. ефектний випарник, а потрійний випарник з'єднаний з резервуаром для зберігання екстракційного розчину через живильну трубу; конструкція попереднього нагріву з'єднана з периферійною стороною труби подачі, між конструкцією попереднього нагріву



та зовнішньою стінкою труби подачі утворюється парова камера.

1 — Трифектний випарник, 2 — Подача труби, 3 — Попередня нагрівальна структура, 6 — Парові труби, 7 — Клапан управління потоком пари,

Рисунок 3.5 – Пристрій для концентрації мезони

У стінці труби подачі утворюється безліч отворів для пари, парові отвори сполучаються з паровою камерою та внутрішньою частиною живильної труби, структура попереднього нагріву сполучається з парогенератором потрійного випарника, а парогенератор потрійного випарника поєднується з паровою камерою.

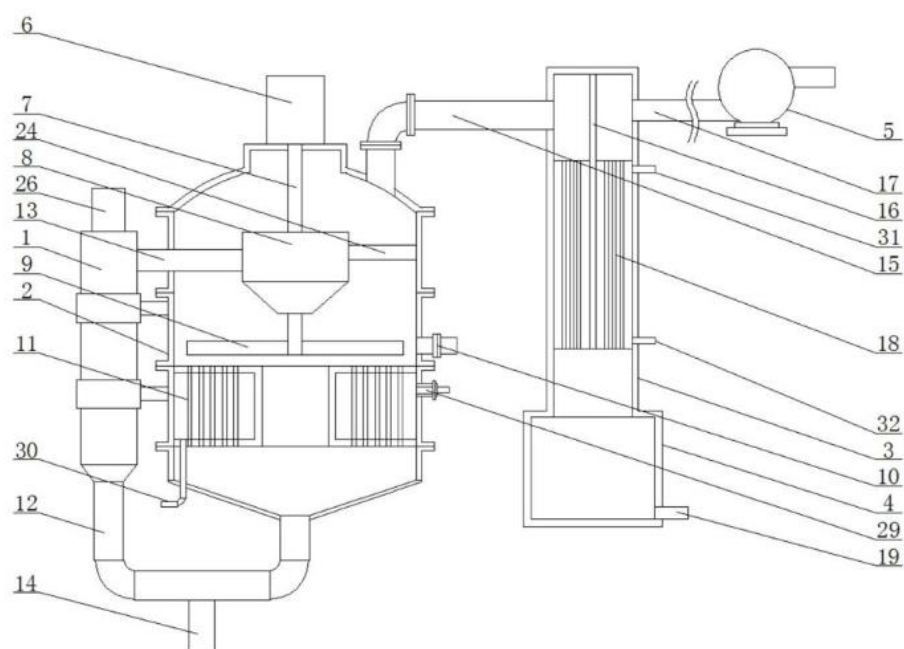
І в парову камеру вводиться пара. Згідно з корисною моделлю, екстрагуючий розчин може краще адаптуватися до високотемпературного середовища у випарнику після входу у випарник, так що втрати енергії зменшуються, енергія пари повністю використовується, а ефективність роботи концентраційного пристрою становить покращений.

Корисна модель[7] розкриває допоміжне концентраційне обладнання для текстилю(Рисунок 3.6), яке містить спіральний підйомник, випарник, конденсаційний пристрій, резервуар для зберігання води та вакуумний насос, перший приводний двигун нерухомо з'єднаний з верхнім кінцем випарника, перший приводний стрижень є нерухомо з'єднаний з нижнім кінцем першого приводного двигуна, і перший приводний стрижень розташований у випарнику; перший рушійний стрижень проникає через розмелювальний пристрій, а потім нерухомо з'єднаний з перемішувальним стрижнем, нагрівач нерухомо встановлений у випарнику нижче перемішувального стрижня, нижній кінець випарника нерухомо з'єднаний з випускною трубою, інший кінець випускна труба з'єднана з нижньою частиною спірального підйомника, а зовнішня бічна стінка верхнього кінця спірального підйомника нерухомо з'єднана з трубою зворотного потоку.

Верхній кінець випарника з'єднаний з конденсаційним пристроєм через паропровід, інша сторона конденсаційного пристрою з'єднана з вакуумним

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		26

насосом через вакуумну трубу, а нижній кінець конденсаційного пристрою нерухомо з'єднаний з накопичувачем води танк.



1 — гвинтовий підйомник, 2 — випарника, 3 — конденсаційного пристрою, 4 — резервуар для зберігання води, 5 — вакуумний насос, 6 — перший двигун, 7 — перший провідний стрижень, 8 — шліфувальний пристрій, 9 — перемішуючий стрижень, 10 — трубка подачі, 11 — нагрівач, 12 — розвантажувальна труба, 13 — зворотна труба, 14 — розрядних труб, 15 — парових труб, 16 — перегородок, 17 — вакуумних труб, 18 — конденсатор, 19 — зливної труби, 20 — оболонки, 21 — шліфувальний блок, 22 — перемішуючий стрижень, 23 — вихідний порт матеріалу, 24 — фіксований стрижень, 25 — матеріал стояка, 26 — другий привід двигуна, 27 — другий привід стрижня, 28 — спіральних лопатей, 29 — парових впускних труб, 30 — випускних труб конденсату, 31 — труба для виходу охолоджуючої води, 32 — труби для входу охолоджуючої води.

Рисунок 3.6 — Текстильне допоміжне концентраційне обладнання

Змн.	Адк.	№ доквм.	Підпис	Дат

ЛН91.065342.001 ПЗ

Адк.

27

Корисна модель передбачає допоміжне згущувальне обладнання для текстилю, яке є простим в експлуатації, має низькі труднощі в роботі, має низькі втрати ресурсів і здатне покращувати якість продукції.

Перевагою цієї моделі є її продуктивність та економія енергії у виводі суспензії.

Недоліком є складність створення та експлуатації.

Висновки: Був проведений патентний пошук, розглянуто різні варіації випарного апарату та вказано їхні переваги та недоліки.

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		28

4 Охорона праці

Тема диплому це «модернізація установки виробництва амофосу з розробкою випарного апарата». Будемо описувати охорону праці відповідно до заданої теми.

Виробництво добрива досить тяжкий та складний процес який включає в себе багато етапів виготовлення сировини. Під час виготовлення добрив, одним з перших та дуже важливих етапів є концентрація сировини до певної концентрації з видаленням вологи. Для цього в схемі виготовлення добрив додають випарні установки які концентрують суспензії до певних значень заданих на виробництві. Для такого складного процесу виготовлення сировини потрібно та важливо знати і виконувати вимоги правил безпеки. Проектування, експлуатація, виготовлення, налаштування, установка, та ремонт цього обладнання регулюються державною службою України з питань праці [8].

4.1 Особливості монтажу

Під час монтажу випарної установки потрібно врахувати що установка є досить великою і для її встановлення потрібне відповідне обладнання. Також схему виробництва добрив та випарну установку яка включена в схему потрібно обов'язково встановлювати в велике приміщення яке добре вентильється та в якому можливо підтримувати комфортну температуру враховуючи особливості експлуатації. Виробництво добрив повинно виконуватися під наглядом персоналу тому в приміщенні повинні бути сприятливі умови, на скільки це можливо для персоналу, враховуючи що персонал буде у спец формі.

4.2 Пожежна безпека

Відповідно до НАПБ Б.01.002-2007 будівля в якій відбувається виробництво продукції більше ніж на 25 % площі приміщень без горючих речовин але з

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		29

використанням високих температур класифікується категорією Г як помірно пожежонебезпечна будівля.

Під час виробництва продукції з використанням високих температур, в приміщенні де виготовляється сировина повинна бути передбачена пожежна безпека. Приміщення де виготовляється продукція повинно бути обладнане протипожежною установкою. На данному виробництві буде доцільно установити датчики диму та температури з використанням поливу водою приміщення. Протипожежна установка повинна покривати все приміщення задля забезпечення надійності тушіння вогню. Протипожежна установка повинна окремо устатковуватися перед установкою всього іншого обладнання якщо її немає на початку. Вона має бути ізольованою і діяти від іншого джерела живлення. Також на виробництві повинні бути розміщені пінні вогнегасники з розрахунку 1 вогнегасника на 25 м². Вони мають бути розміщені у підлоги в спеціальних кріпленнях, не вище півтора метра від підлоги. Система пожежогасіння повинна обслуговуватися кожні півроку задля нормальної роботи.

4.3 Шкідливі фактори при обслуговуванні та експлуатації

Небезпечними факторами при роботі та експлуатації випарної установки є великі температури, робота апарата під тиском, електричний струм, підвищена температура робочої зони. Сировина, пар, вторинний пар, все є небезпечним для людини із-за високих температур та можливого контакту з кислотним середовищем яке може бути у сировині що виготовляється. Електричний струм та висока температура робочого місця також є небезпечними факторами на які потрібно звернути увагу та забезпечити захист та комфортні умови працівнику.

Для забезпечення безпеки при експлуатації системи виготовлення добрив та особливо випарних апаратів, передбачені наступні заходи для їх запобігання:

- Для забезпечення безпеки при високих температурах установки та усунення можливості пошкодитись або отримати опіки від апаратів

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		30

установка повинна базуватись на замкнутому циклі автоматизації, комплексній механізації, дистанційному керуванні. Виготовлення продукції повинно виконуватися в герметичних посудинах в замкнутому циклі. Посудини повинні оглядатись кожного дня під кінець зміни на наявність дефектів. Також для забезпечення більшої безпеки при експлуатації людьми, в установці передбаченна ізоляція що зменшує температуру до безпечної для людини.

- Електричний струм несе велику небезпеку для людини тому всі електричні частини повинні бути в ізоляції яка не проводить струм. Також вся апаратура повинна бути на достатній відстані від установки, для запобігання деформації ізоляцій та апаратури від підвищеної температури. Вся електронна техніка повинна управлятися на відстані від установки для комфортних умов для персоналу. На виробництві амофосу все повинно бути автоматизованно з мінімальним втручанням людини. Також на виробництві повинні бути влаштовані сигналізації, що попереджають про пуск устаткування або пожежної небезпеки.

- Апаратура повинна бути герметичною та без пошкоджень задля, для захисту від токсичного середовища. Приміщення в якому працює обладнання повинно бути забезпечено вентеляційним обладнанням для очищення повітря та забезпечення потрібної якості. Контроль якості повітря здійснюється в робочій зоні. При регулярному огляді апаратів персонал повинен бути в захисній одежі, яка передбачає захист від токсинів у повітрі та високої температури у випадку пошкодження апаратів. Теплове випромінювання на робочому місці не повинно перевищувати 60 Вт/м^2 .

Для забезпечення безпечних умов експлуатації обладнання в приміщенні повинні виконуватися наступні умови з урахування незначних відхилень від значень на невеликий проміжок часу(Таблиця 1)

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		31

Норми мікрокліматичних параметрів повітря робочої зони випарної
установки

Таблиця 1

Категорія робіт	II а;
Холодний період року:	
<i>температура, С:</i>	
- оптимальна	18-20;
- на постійних робочих місцях	17-23;
- на непостійних робочих місцях	15-24;
<i>відносна вологість, %:</i>	
- оптимальна	40-60;
- на постійних і непостійних робочих місцях	75;
<i>швидкість руху, м/с:</i>	
- оптимальна, не більше	0,2;
- на постійних і непостійних роб. місцях, не більше	0,3;
Теплий період року:	
<i>температура, С:</i>	
- оптимальна	21-23;
- на постійних робочих місцях	27-30;
- на непостійних робочих місцях	26-31;
<i>відносна вологість, %:</i>	
- оптимальна	40-60;
- на постійних і непостійних робочих місцях	75;

Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат

ЛН91.065342.001 ПЗ

Адк.

32

Продовження таблиці 1

<i>швидкість руху, м/с:</i>	
- оптимальна, не більше	0,3;
- на постійних і непостійних роб. місцях, не більше	0,4.

Таблиця заповнена відповідно до санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99.

4.4 Техніка безпеки при обслуговуванні випарної установки

Для безпечної роботи випарних апаратів, перш за все, необхідно правильно пускати їх в експлуатацію, згідно інструкції, з врахуванням технологічних параметри процесу випаровування. Запускати установку повинна спеціально навчена команда під наглядом керівника. Під час технічного огляду перевіряється цілісність апарату в важливих та небезпечних точках, проводяться внутрішні огляди та гідравлічні випробування.

Кожен апарат перед запуском повинен пройти випробування на працездатність. При обслуговуванні випарної установки необхідно остерігатися опіків гарячим розчином суспензії, води та парою, а також зменшити взаємодію з гарячою поверхнею апарату. Випарні апарати і їх трубопроводи повинні бути надійно ізольовані. Під час технічного обслуговування установки, кожні пів року потрібно замінювати елементи які можуть зноситися та до яких є доступ, наприклад прокладки.

Кожен рік обладнання повинно обслуговуватися та очищуватися від накопичень за допомогою або ручної праці, або спеціальних розчинів кислот які запускають в апарат. Під час цього персонал повинен бути в спец одязі та масках задля безпеки шкіри та дихальних шляхів.

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		33

5 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції апарата

5.1 Визначення основних геометричних розмірів апарата

Мета розрахунку: підібрати необхідну поверхню теплообмінну і конструктивні розміри випарного апарата для заданих умов.

Розрахункова схема до параметричного розрахунку наведена на рисунку 5.1.

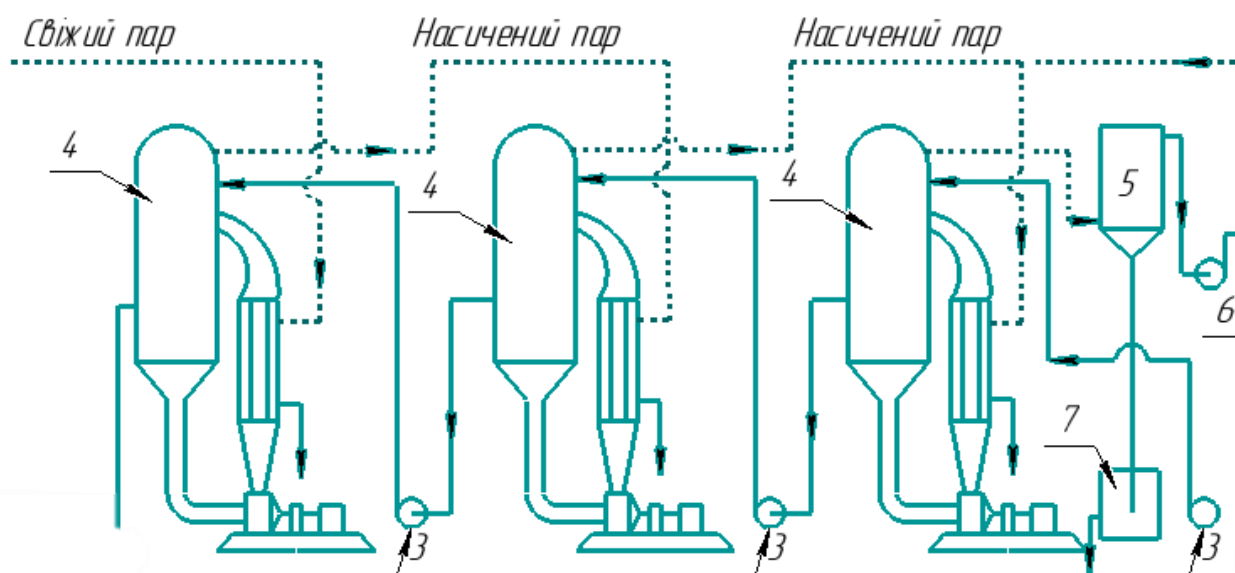


Рисунок 5.1 – Схема трьохкорпусного випарного апарата

Вихідні дані:

Вихідна кількість розчину G_n , кг/с 15;

Початкова концентрація x_n , % (мас.) 8;

Кінцева концентрація x_k , % (мас.) 45;

Тиск гріючої пари p , МПа 0,7;

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [1, с. 133-138].

Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат

ЛН91.065342.001 ПЗ

Адк.

34

З рівняння матеріального балансу знаходимо загальну кількість води випарованої у установці:

$$W = G_{II} \left(1 - \frac{x_{II}}{x_k} \right) = 15 \left(1 - \frac{8}{45} \right) = 12,333 \text{ кг/с}$$

Розрахунок концентрацій випареного розчину по корпусах:

Розподіл концентрації випареного розчину по корпусах установки залежить від співвідношення навантажень по випареній воді:

$$W_1 : W_2 : W_3 = 1,0 : 1,1 : 1,2$$

Тоді кількість випареної води:

$$\text{у 1-му корпусі} \quad W_1 = \frac{W \cdot 1,0}{1,0 + 1,1 + 1,2} = \frac{12,333 \cdot 1,0}{1,0 + 1,1 + 1,2} = 3,373 \text{ кг/с},$$

$$\text{у 2-му корпусі} \quad W_2 = \frac{W \cdot 1,1}{1,0 + 1,1 + 1,2} = \frac{12,333 \cdot 1,1}{1,0 + 1,1 + 1,2} = 4,111 \text{ кг/с},$$

$$\text{у 3-му корпусі} \quad W_3 = \frac{W \cdot 1,2}{1,0 + 1,1 + 1,2} = \frac{12,333 \cdot 1,2}{1,0 + 1,1 + 1,2} = 4,485 \text{ кг/с}.$$

Концентрація розчинів в корпусах:

$$\text{у 1-му корпусі} \quad x_1 = \frac{G_{II} \cdot x_{II}}{G_{II} - W_1} = \frac{158}{15 - 3,737} = 10,655 \%,$$

$$\text{у 2-му корпусі} \quad x_2 = \frac{G_{II} \cdot x_{II}}{G_{II} - W_2 - W_1} = \frac{158}{15 - 3,737 - 4,111} = 16,78 \%,$$

$$\text{у 3-му корпусі} \quad x_3 = \frac{G_{II} \cdot x_{II}}{G_{II} - W_1 - W_2 - W_3} = \frac{158}{15 - 3,737 - 4,111 - 4,485} = 45 \ %.$$

що відповідає завданню.

Визначення температур кипіння розчину по корпусам.

Розподіл тисків по корпусам установки.

Загальний перепад тисків в установці:

$$\Delta p_{cn} = p_{г.п.} - p_{б.к.} = 0,7 - 0,01 = 0,69 \text{ МПа}$$

Розподіляєм спільний перепад тисків між корпусами порівну:

$$\Delta p = \frac{\Delta p_{cn}}{3} = \frac{0,69}{3} = 0,23 \text{ МПа}$$

Абсолютні тиски по корпусам будуть дорівнювати:

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		35

$$p_1 = p_{2л} - \Delta p = 0,7 - 0,23 = 0,47 \text{ МПа}$$

$$p_2 = p_1 - \Delta p = 0,47 - 0,23 = 0,24 \text{ МПа}$$

$$p_3 = p_2 - \Delta p = 0,24 - 0,23 = 0,01 \text{ МПа}$$

що відповідає завданню.

Цим значенням тисків відповідають значення температур та ентальпій наведених в таблиці 5.1 визначених [9].

Таблиця 5.1. Визначення ентальпії.

Тиск, МПа	Температура, °С	Ентальпія, кДж/кг
0,5	165	2763
0,338	149.6	2745.8
0,177	126	2715.2
0,015	46	2584.7

Визначення гідравлічної депресії

На основі практичних рекомендацій приймаємо гідравлічну депресію для кожного корпусу $\Delta''' = 1$ град., тоді температури вторинних парів, тиски і теплоти пароутворення їх в корпусах будуть рівні (таблиця 5.2) [9].

Таблиця 5.2. Визначення температури вторинних парів [9].

Температура, °С	Тиск, МПа	Теплота пароутворення, кДж/кг
$t_{в.п_1} = 149.6 + 1 = 150.6$	0.48	2119
$t_{в.п_2} = 126 + 1 = 127$	0,246	2188
$t_{в.п_3} = 46 + 1 = 47$	0,0106	2387

Сума гідравлічних депресій

$$\Sigma \Delta''' = 31 = 3^{\circ}\text{C}$$

Визначення гідростатичної депресії

Для обрання висоти труби $H=l$ необхідно орієнтовно визначити площу поверхні теплопередачі випарного апарату $F_{\text{ор.}}$, вибрати параметри апарату за ГОСТ 11987-81. Площа поверхні теплопередачі орієнтовно визначається за формулою:

$$F_{OB_1} = \frac{Q_1}{q} = \frac{W_1 \cdot r_1}{q} = \frac{3,737 \cdot 2119}{30000} = 263,983 \text{ м}^2,$$

$$F_{OB_2} = \frac{Q_2}{q} = \frac{W_2 \cdot r_2}{q} = \frac{4,111 \cdot 2188}{30000} = 299,837 \text{ м}^2,$$

$$F_{OB_3} = \frac{Q_3}{q} = \frac{W_3 \cdot r_3}{q} = \frac{4,485 \cdot 2387}{30000} = 356,812 \text{ м}^2.$$

де q – орієнтовне значення питомого теплового потоку для апаратів з природною циркуляцією, $q=30000 \text{ Вт/м}^2$.

Приймаємо за ГОСТ 11987-81 випарний апарат з площею поверхні теплопередачі $F=400 \text{ м}^2$, довжиною труб 5 м, діаметром труб 38x2мм.

Таким чином, тиск в середньому шарі кип'ятильних труб корпусів рівні:

$$P_{1cp} = P_{в.н.1} + \frac{\rho_{p1} \cdot g \cdot H \left[0,26 + 0,0014 \cdot (\rho_{p1} - \rho_{e1}) \right]}{2} \cdot 10^{-6} =$$

$$= 0,48 + \frac{1177,049,8075 \left[0,26 + 0,0014 \cdot (1177,04 - 917,3) \right]}{2} = 0,498 \text{ МПа}$$

$$P_{2cp} = P_{в.н.2} + \frac{\rho_{p2} \cdot g \cdot H \left[0,26 + 0,0014 \cdot (\rho_{p2} - \rho_{e2}) \right]}{2} \cdot 10^{-6} =$$

$$= 0,246 + \frac{1195,369,8075 \left[0,26 + 0,0014 \cdot (1195,36 - 937,66) \right]}{2} = 0,264 \text{ МПа}$$

$$P_{3cp} = P_{в.н.3} + \frac{\rho_{p3} \cdot g \cdot H \left[0,26 + 0,0014 \cdot (\rho_{p3} - \rho_{e3}) \right]}{2} \cdot 10^{-6} =$$

$$= 0,011 + \frac{1240,839,8075 \left[0,26 + 0,0014 \cdot (1240,83 - 989,37) \right]}{2} = 0,029 \text{ МПа}$$

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		37

Отриманим тискам відповідають наступні температури кипіння (таблиця 5.3) [9].

Таблиця 5.3. Визначення температури кипіння.

Тиск, МПа	Температура кипіння, °C	Теплота пароутворення, кДж/кг
0.498	151,8	2107
0,264	129,2	2177,3
0,029	68,5	2337,2

Визначаємо гідростатичну депресію по корпусам.

$$\Delta_1'' = t_{1cp} - t_{в.н_1} = 151,8 - 150,6 = 1,2^\circ\text{C},$$

$$\Delta_2'' = t_{2cp} - t_{в.н_2} = 129,2 - 127 = 2,2^\circ\text{C},$$

$$\Delta_3'' = t_{3cp} - t_{в.н_3} = 68,5 - 47 = 21,5^\circ\text{C}.$$

Сума гідростатичних депресій

$$\Sigma \Delta'' = \Delta_1'' + \Delta_2'' + \Delta_3'' = 1,2 + 2,2 + 21,5 = 24,9^\circ\text{C}$$

Концентрація гідроксиду натрію по корпусах наведена в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4. Визначення температурної депресії [10].

Корпус	Концентрація NaOH. %	Температура кипіння, °C	Депресія, °C
1	10,655	126	0,8
2	16,78	149,6	1,26
3	45	165	5,9

Температурна депресія по корпусах з урахуванням тиску в них.

$$\Delta'_1 = \frac{16,2 \cdot T_1^2 \cdot \Delta'_{амв1}}{r_1} = \frac{16,2(273+151,8)^2 \cdot 0,8}{2107 \cdot 10^3} = 1,11^\circ\text{C},$$

$$\Delta'_2 = \frac{16,2 \cdot T_2^2 \cdot \Delta'_{амв2}}{r_2} = \frac{16,2(273+129,2)^2 \cdot 1,26}{2177,3 \cdot 10^3} = 1,517^\circ\text{C},$$

$$\Delta'_3 = \frac{16,2 \cdot T_3^2 \cdot \Delta'_{амв3}}{r_3} = \frac{16,2(273+68,5)^2 \cdot 5,9}{2337,2 \cdot 10^3} = 4,769^\circ\text{C}.$$

Сума температурних депресій.

$$\sum \Delta' = \Delta'_1 + \Delta'_2 + \Delta'_3 = 1,11 + 1,517 + 4,769 = 7,396^\circ\text{C}$$

Температура кипіння розчинів по корпусам.

$$t_{\kappa_1} = t_1 + \Delta'_1 + \Delta''_1 + \Delta'''_1 = 149,6 + 1,11 + 1,2 + 1 = 152,91^\circ\text{C},$$

$$t_{\kappa_2} = t_2 + \Delta'_2 + \Delta''_2 + \Delta'''_2 = 126 + 1,517 + 2,2 + 1 = 130,717^\circ\text{C},$$

$$t_{\kappa_3} = t_3 + \Delta'_3 + \Delta''_3 + \Delta'''_3 = 46 + 4,769 + 21,5 + 1 = 73,269^\circ\text{C}.$$

Визначення корисної різниці температур.

Загальна корисна різниця температур.

$$\Delta t_{кор. заг.} = t - t_3 - \sum \Delta' - \sum \Delta'' - \sum \Delta''' = 165 - 45,83 - 7,396 - 24,9 - 3 = 83,874^\circ\text{C}.$$

Корисні різниці температур по корпусам рівні.

$$\Delta t_{кор.1} = t - t_{\kappa_1} = 165 - 152,91 = 12,09^\circ\text{C},$$

$$\Delta t_{кор.2} = t_1 - t_{\kappa_2} = 149,6 - 130,717 = 18,883^\circ\text{C},$$

$$\Delta t_{кор.3} = t_2 - t_{\kappa_3} = 126 - 73,269 = 52,731^\circ\text{C}.$$

Теплоємність розраховувалась для суспензії за довідником хіміка.

Визначаємо витрату гріючої пари в перший корпус, теплові навантаження по корпусах:

$$\begin{aligned} Q &= G_{\text{с.п.}} \cdot r_{\text{с.п.1}} = \left[G_H \cdot c_{\kappa_1} \cdot (t_{\kappa_1} - t_1) + W_1 \cdot (i_{\text{см1}} - c_{\kappa_1} \cdot t_{\kappa_1}) \right] \cdot 1,05 = \\ &= G_{\text{с.п.}} \cdot 2104,510^3 = \left[154146,5(152,9 - 149,6) + 3,73(274910^3 - 4147152,9) \right] \cdot 1,05 = 8,516 \cdot 10^6 \text{ Вт} \end{aligned}$$

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		39

$$Q_2 = W_1 \cdot r_{\text{с.п.2}} = \left[W_{\text{ноч}_2} \cdot c_{\kappa_2} \cdot (t_{\kappa_2} - t_{\kappa_1}) + W_2 \cdot (i_{\text{см}_2} - c_{\kappa_2} \cdot t_{\kappa_2}) \right] \cdot 1,03 =$$

$$= 3,737 \cdot 2175,84 \cdot 10^3 = \left[(15 - 3,737) \cdot (152,9 - 149,6) + 4,111 \cdot (2720,9 \cdot 10^3 - 4132,1 \cdot 130,7) \right] \cdot 1,03 = 8,145 \cdot 10^6 \text{ Вт}$$

$$Q_3 = W_2 \cdot r_{\text{с.п.3}} = \left[W_{\text{ноч}_3} \cdot c_{\kappa_3} \cdot (t_{\kappa_3} - t_{\kappa_2}) + W_3 \cdot (i_{\text{см}_3} - c_{\kappa_3} \cdot t_{\kappa_3}) \right] \cdot 1,03 =$$

$$= 4,111 \cdot 2236,89 \cdot 10^3 = \left[(15 - 3,737 - 4,111) \cdot (4098,8 \cdot 73,3 - 4132,12 \cdot 130,7) + 4,48 \cdot (2632 \cdot 10^3 - 4098,8 \cdot 73,3) \right] \cdot 1,03 = 9,004 \cdot 10^6 \text{ Вт}$$

$$12,333 = W_1 + W_2 + W_3$$

Визначення теплових навантажень по корпусам (таблиця 5.5).

Таблиця 5.5 - Визначення теплових навантажень по корпусам.

	Корпус		
	1	2	3
Кількість вихідного розчину, кг/с	15	11,263	7,152
Концентрація вихідного розчину, %	8	10,65	16,78
Температура вихідного розчину, °С	149,6	152,91	130,717
Температура упареного розчину, °С	152,91	130,91	73,269
Теплоємність вихідного розчину, Дж/(кг·К)	4147	4132	4099
Ентальпія вторинної пари, кДж/кг	2749	2720,9	2632
Теплота пароутворення гріючої пари, кДж/кг	2104,5	2174,4	2326,4

Вирішення системи рівнянь дає наступні результати:

$$G_{\text{г.п.}} = 4,047 \text{ кг/с}$$

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
						40
Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Визначення коефіцієнтів теплопередачі:

Обираємо конструкційний матеріал стійкий до середовища H_2PO_4 в інтервалі зміни концентрацій від 8 до 45% і температур до 200°C . В цих умовах хімічно стійкою являється сталь марки 12X18H10T, її теплопровідність $\lambda=17 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

Властивості розчинів H_2PO_4 та їх парів наведено в таблиці 5.7 [10].

Таблиця 5.6 – Визначення коефіцієнта А.

Температура плівки конденсату	Коефіцієнт А
152.91	307
130.717	295
73.269	240

Таблиця 5.7 - Властивості киплячих розчинів NaOH та їх парів [10].

Параметри	Корпус		
	1	2	3
Температура $t, ^\circ\text{C}$	152,91	130,717	73,269
Концентрація $x, \%$	10655	16,78	45
Теплопровідність розчину $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$	0,371	0,372	0,363
Густина розчину $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$	1176,6	1192,6	1229
В'язкість розчину $\mu, 10^3 \cdot \text{Па}\cdot\text{с}$	0,264	0,373	2,237
Поверхневий натяг $\sigma, 10^3 \cdot \text{Н}/\text{м}$	75,1	76	79
Теплоємність розчину $c, \text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$	4132	4099	3945
Теплота пароутворення r_n	2105,5	2174,1	2326,3

кДж/кг			
Густина пару ρ_n , кг/м ³	2,749	1,494	0,226
Густина пару при $\rho=10^5$ Па	0,379	-	-

$$\sum r = \frac{\delta}{\lambda_{cm}} + \frac{\delta_n}{\lambda_n} = \frac{0,002}{17} + \frac{0,0005}{3,05} = 2,816 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2\text{К/Вт}.$$

З достатнім рівнем точності для розрахунку можна прийняти температуру плівки конденсату в гріючих камерах випарних апаратів рівним температурам конденсації гріючої пари.

Визначаємо коефіцієнт В по корпусах:

$$B_1 = 780 \cdot \frac{\lambda_1^{1,3} \cdot \rho_1^{0,5} \cdot \rho_{n_1}^{0,06}}{\sigma_1^{0,5} \cdot r_{n_1}^{0,6} \cdot \rho^{0,66} \cdot c_1^{0,3} \cdot \mu_1^{0,3}} =$$

$$= 780 \cdot \frac{0,371^{1,3} \cdot 1176,6^{0,5} \cdot 2,749^{0,06}}{(75,11 \cdot 10^{-3})^{0,5} \cdot (2105,5 \cdot 10^{-3})^{0,6} \cdot 0,379^{0,66} \cdot 4132^{0,3} \cdot (0,264 \cdot 10^{-3})^{0,3}} = 8,489,$$

$$B_2 = 780 \cdot \frac{\lambda_2^{1,3} \cdot \rho_2^{0,5} \cdot \rho_{n_2}^{0,06}}{\sigma_2^{0,5} \cdot r_{n_2}^{0,6} \cdot \rho^{0,66} \cdot c_2^{0,3} \cdot \mu_2^{0,3}} =$$

$$= 780 \cdot \frac{0,372^{1,3} \cdot 1192,6^{0,5} \cdot 1,494^{0,06}}{(76 \cdot 10^{-3})^{0,5} \cdot (2174 \cdot 10^{-3})^{0,6} \cdot 0,379^{0,66} \cdot 4099^{0,3} \cdot (0,373 \cdot 10^{-3})^{0,3}} = 7,286,$$

$$B_3 = 780 \cdot \frac{\lambda_3^{1,3} \cdot \rho_3^{0,5} \cdot \rho_{n_3}^{0,06}}{\sigma_3^{0,5} \cdot r_{n_3}^{0,6} \cdot \rho^{0,66} \cdot c_3^{0,3} \cdot \mu_3^{0,3}} =$$

$$= 780 \cdot \frac{0,363^{1,3} \cdot 1229,2^{0,5} \cdot 1,494^{0,06}}{(79 \cdot 10^{-3})^{0,5} \cdot (2326,3 \cdot 10^{-3})^{0,6} \cdot 0,379^{0,66} \cdot 3945^{0,3} \cdot (2,237 \cdot 10^{-3})^{0,3}} = 3,561.$$

Значення теплових нагрузок були знайдені по діаграмі за методом описаному в [8, ст. 164-165]:

Таблиця 5.8 - Розрахунок коефіцієнтів тепловіддачі:

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		42

Величини	1 корпус	2 корпус	3 корпус
	$A=302 \cdot 10^3$ $B_1 = 8.489$	$A=295 \cdot 10^3$ $B_2 = 7.286$	$A=240 \cdot 10^3$ $B_3 = 3.561$
$q, \text{Вт/м}^2$	15100	47400	81400

Коефіцієнти теплопередачі по корпусам рівні:

$$K_1 = \frac{q_1}{\Delta t_{\text{кор}_1}} = \frac{15100}{12,09} = 1249 \text{ Вт/(м}^2\text{K)},$$

$$K_2 = \frac{q_2}{\Delta t_{\text{кор}_2}} = \frac{47400}{18,883} = 2510 \text{ Вт/(м}^2\text{K)},$$

$$K_3 = \frac{q_3}{\Delta t_{\text{кор}_3}} = \frac{81400}{52,731} = 1544 \text{ Вт/(м}^2\text{K)}.$$

Корисна різниця температур в корпусах установок:

$$\Delta t_{\text{кор}_1} = \Delta t_{\text{кор.заг.}} \cdot \frac{\frac{Q}{K_1}}{\frac{Q}{K_1} + \frac{Q}{K_2} + \frac{Q}{K_3}} = \frac{\frac{8516 \cdot 10^3}{1249}}{\frac{8516 \cdot 10^3}{1249} + \frac{8145 \cdot 10^3}{2510} + \frac{9004 \cdot 10^3}{1544}} = 35.903^\circ\text{C},$$

$$\Delta t_{\text{кор}_2} = \Delta t_{\text{кор.заг.}} \cdot \frac{\frac{Q}{K_2}}{\frac{Q}{K_1} + \frac{Q}{K_2} + \frac{Q}{K_3}} = \frac{\frac{8145 \cdot 10^3}{2510}}{\frac{8516 \cdot 10^3}{1249} + \frac{8145 \cdot 10^3}{2510} + \frac{9004 \cdot 10^3}{1544}} = 17.086^\circ\text{C},$$

$$\Delta t_{\text{кор}_3} = \Delta t_{\text{кор.заг.}} \cdot \frac{\frac{Q}{K_3}}{\frac{Q}{K_1} + \frac{Q}{K_2} + \frac{Q}{K_3}} = \frac{\frac{9004 \cdot 10^3}{1544}}{\frac{8516 \cdot 10^3}{1249} + \frac{8145 \cdot 10^3}{2510} + \frac{9004 \cdot 10^3}{1544}} = 30.715^\circ\text{C}.$$

Перевірка загальної корисної різниці температур:

$$\sum \Delta t_{\text{кор.заг.}} = \Delta t_{\text{кор}_1} + \Delta t_{\text{кор}_2} + \Delta t_{\text{кор}_3} = 35,903 + 17,086 + 30,715 = 83,704^\circ\text{C}.$$

Площі поверхонь теплопередачі випарних апаратів:

$$F_1 = \frac{Q}{K_1 \cdot \Delta t_{\text{кор}_1}} = \frac{8516 \cdot 10^3}{1249 \cdot 35,903} = 18,908 \text{ м}^2,$$

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		43

$$F_2 = \frac{Q_2}{K_2 \cdot \Delta t_{кор_2}} = \frac{8145 \cdot 10^3}{2510 \cdot 17,086} = 189,908 \text{ м}^2,$$

$$F_3 = \frac{Q_3}{K_3 \cdot \Delta t_{кор_3}} = \frac{9004 \cdot 10^3}{1544 \cdot 30,715} = 189,908 \text{ м}^2.$$

Виходячи з розрахованої площі поверхні теплообміну, за [11] приймаємо випарний апарат з характеристиками, наведеними в таблиці 8.9.

Таблиця 5.9 – Технічна характеристика апарата

Площа поверхні теплообміну F , м ²	224
Довжина труб l , мм	5000
Труби	38x2
Діаметр гріючої камери D , мм	1200
Діаметр сепаратора D_1 , мм	2800
Висота апарата H , мм	14500
Висота парового простору H_1 , мм	2500
Маса апарата M , кг	14800
Матеріал труб	Сталь 12X18Н10Т ГОСТ 5632-72

Площа поверхні теплообміну вибраного випарного апарату $F_B = 224 \text{ м}^2$, що менше орієнтовно вибраної поверхні $F_{OB} = 400 \text{ м}^2$. Але необхідності вносити корективи в розрахунок немає, оскільки висота труб залишилася незмінною.

Висновок: на основі проведених розрахунків визначено параметри випарного апарата. Одержані результати зведені в таблицю 5.9.

5.2 Конструктивний розрахунок

Мета розрахунку: визначення параметрів розміщення труб в трубній решітці та розрахунок основних розмірів випарного апарату.

Розрахункова схема до конструктивного розрахунку наведена на рисунку 5.3

Вихідні дані:

Площа поверхні теплообміну F , м² 224;
 Діаметр труби d_3 , м 0,038;
 Довжина труб l , м 6.

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [8, с. 154-155].

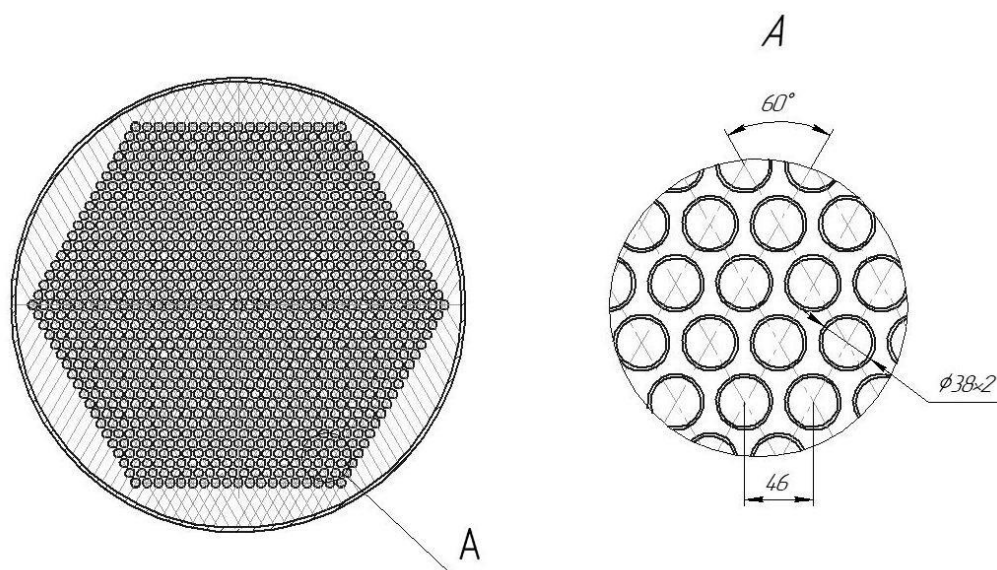


Рисунок 5.3 – Схема до розрахунку конструкції трубної решітки

Кількість труб та їх розміщення:

$$n = \frac{F}{\pi d_3 l} = \frac{224}{3,140,0386} = 312 \text{ шт.}$$

Обираємо стандартизовану кількість труб $n = 331$, $a = 11$, $b = 21$

Внутрішній діаметр обичайки гріючої камери:

$$D_k = \sqrt{\frac{4 \cdot n \cdot t^2 \cdot \sin(\alpha)}{\pi \cdot \psi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 331 \cdot 0,048^2 \cdot \sin(60^\circ)}{3,14 \cdot 0,7}} = 1,096 \text{ м}$$

Де $\alpha = 60^\circ$ - кут між трубами, $\psi = 0,7$ – коефіцієнт використання трубної решітки, $t = 0,048$ – крок між трубами.

Обираємо стандартний розмір гріючої камери $D_k = 1,2$ м

Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат

ЛН91.065342.001 ПЗ

Адк.

45

Діаметр циркуляційної труби розраховується за наступною формулою:

$$D_z = \sqrt{0,3 \cdot d_s^2 \cdot n} = \sqrt{0,3 \cdot 0,038^2 \cdot 331} = 0,379 \text{ м}$$

Обираємо діаметр циркуляційної труби рівним $D_z = 0,4 \text{ м}$

Об'єм парового простору (сепаратора) випарного апарату:

$$V_c = \frac{W}{W'} = \frac{12,33}{0,833} = 14,8 \text{ м}^3$$

Де W' приймаємо $W' = 0,833$ – допустиме напруження парового простору

Швидкість пари в паровому просторі:

$$w_n = \frac{4 \cdot W}{\pi \cdot \rho_n \cdot D_c^2} = \frac{4 \cdot 12,33}{3,14 \cdot 1,494 \cdot 2,8^2} = 1,341 \text{ м/с}$$

Де $D_c = 2,8$ – діаметр сепаратора відповідно до стандартного апарату за поверхнею теплообміну

Критерій Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{w_n \cdot d_k \cdot \rho_n}{\mu_n} = \frac{1,341 \cdot 0,5 \cdot 1,494}{\frac{13,32}{1000}} = 75,187$$

Де властивості пару взяти відповідно до найбільшої температури в апараті, $d_k = 0,5$ – орієнтовний діаметр краплини

Коефіцієнт опору:

$$\xi = \frac{18,5}{\text{Re}^{0,6}} = 1,385$$

Швидкість витання краплини:

$$w_e = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,81 \cdot (\rho_p - \rho_n) \cdot d_k}{3 \cdot \xi \cdot \rho_n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,81 \cdot (934,6 - 1,494) \cdot 0,5}{3 \cdot 1,385 \cdot 1,494}} = 54,304$$

Де ρ_p – густина розчину при температурі 165

Висота парового простору(сепаратора):

$$H_c = \frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot D_c^2} = \frac{4 \cdot 14,8}{3,14 \cdot 2,8^2} = 2,404 \text{ м}$$

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
						46
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		

Приймаємо висоту сепаратора рівну 2,5 м

Висновок: на основі проведених розрахунків приймаємо діаметр гріючої камери 1,2 м., кількість труб 331 шт., крок – 48 мм., діаметр циркуляційної труби 0,4 м., діаметр сепаратору 2,8 м., висоту парового простору 2,5 м.

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ доквм.	Підпис	Дат		47

5.3 Розрахунок штуцерів

Мета розрахунку: визначення розмірів штуцерів, в залежності від швидкості руху теплоносіїв та їх масових витрат.

Розрахункова схема наведена на рисунку 5.4.

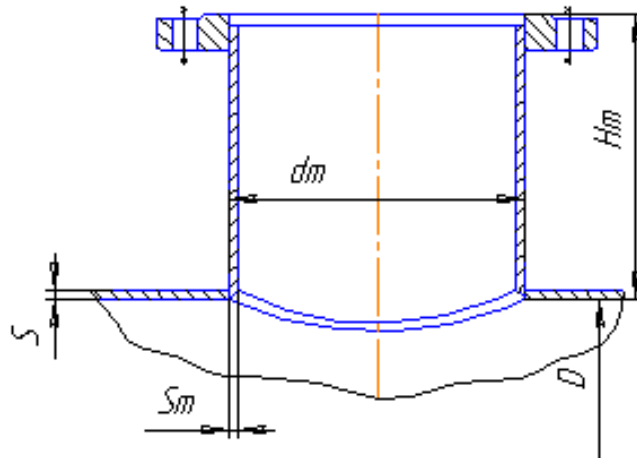


Рисунок 5.4 – Розрахунок штуцерів

Вихідні дані:

Витрати гріючої пари $G_{г.п.}$, кг/с	4,047;
Вхідна кількість розчину $G_{п.}$, кг/с	15;
Вихідна кількість розчину $G_{упр.}$, кг/с	11,263;
Кількість вторинної пари W , кг/с	4,111;
Кількість конденсату $G_{к.}$, кг/с	4,047.

Для розрахунку діаметрів штуцерів приймаємо значення для швидкостей потоку із рекомендованого діапазону для рідини та газів [8, с. 25-26].

Згідно рекомендацій наведених [8] приймаємо рекомендовану швидкість руху розчину на вході $\omega_{п.}=0,7$ м/с, гріючої пари $\omega_{г.п.}=20$ м/с, вторинної пари $\omega_{в.т.}=18$ м/с, конденсату $\omega_{к.}=0,6$ м/с, упареного розчину $\omega_{упр.}=1$ м/с

Вхід розчину:

$$d_p = \sqrt{\frac{4G_n}{\pi \rho_p \cdot \omega_p}} = \sqrt{\frac{415}{3,141192,60,7}} = 0,151 \text{ м}$$

Приймаємо:

$$d_3 = 0,161 \text{ м}, d_{\text{ен}} = 0,151 \text{ м}$$

Дійсна швидкість:

$$\omega_p = \frac{4G_n}{\pi \rho_p \cdot d_{\text{ен}}^2} = \frac{415}{3,141192,60,151^2} = 0,702 \text{ м}$$

Вихід розчину:

$$d_{\text{уп}} = \sqrt{\frac{4G_{\text{уп}}}{\pi \rho_{\text{уп}} \cdot \omega_{\text{уп}}}} = \sqrt{\frac{411,263}{3,141229,21}} = 0,108 \text{ м}$$

Приймаємо:

$$d_3 = 0,118 \text{ м}, d_{\text{ен}} = 0,108 \text{ м}$$

Дійсна швидкість:

$$\omega_{\text{уп}} = \frac{4G_{\text{уп}}}{\pi \rho_{\text{уп}} \cdot d_{\text{ен}}^2} = \frac{411,263}{3,141229,20,108^2} = 1 \text{ м}$$

Вхід гріючої пари:

$$d_{\text{с.п.}} = \sqrt{\frac{4G_{\text{с.п.}}}{\pi \rho_{\text{с.п.}} \cdot \omega_{\text{с.п.}}}} = \sqrt{\frac{44,047}{3,1412,74920}} = 0,306 \text{ м}$$

Приймаємо:

$$d_3 = 0,316 \text{ м}, d_{\text{ен}} = 0,306 \text{ м}$$

Дійсна швидкість:

$$\omega_{\text{с.п.}} = \frac{4G_{\text{с.п.}}}{\pi \rho_{\text{с.п.}} \cdot d_{\text{ен}}^2} = \frac{44,047}{3,1412,7490,306^2} = 19,5 \text{ м}$$

Вихід конденсату:

$$d_k = \sqrt{\frac{4G_k}{\pi \rho_k \cdot \omega_k}} = \sqrt{\frac{44,047}{3,14937,660,6}} = 0,096 \text{ м}$$

Приймаємо:

$$d_3 = 0,105 \text{ м}, d_{\text{ен}} = 0,095 \text{ м}$$

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ доквм.	Підпис	Дат		49

Дійсна швидкість:

$$\omega_k = \frac{4 \cdot G_k}{\pi \cdot \rho_k \cdot d_{\text{вн}}^2} = \frac{4 \cdot 4,047}{3,14 \cdot 937,660,095^2} = 0,609 \text{ м.}$$

Вихід вторинної пари, м:

$$d_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{\pi \cdot \rho_{\text{вн}} \cdot \omega_{\text{вн}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,111}{3,14 \cdot 1,494 \cdot 18}} = 0,764 \text{ м.}$$

Приймаємо:

$$d_3 = 0,775 \text{ м, } d_{\text{вн}} = 0,765 \text{ м.}$$

Дійсна швидкість, м/с:

$$\omega_{\text{вн}} = \frac{4 \cdot G_{\text{вн}}}{\pi \cdot \rho_{\text{вн}} \cdot d_{\text{вн}}^2} = \frac{4 \cdot 4,111}{3,14 \cdot 1,494 \cdot 0,765^2} = 17,96 \text{ м.}$$

Приймаємо стандартний штуцер для входу розчину за ОСТ 26-1403-76:

умовний діаметр, D_y , м	0,150;
зовнішній діаметр патрубку, d_T , м	0,159;
товщина стінки патрубку, S_T , м	0,006;
висота штуцера, H_T , м	0,155.

Приймаємо стандартний штуцер для виходу розчину за ОСТ 26-1403-76:

умовний діаметр, D_y , м	0,1;
зовнішній діаметр патрубку, d_T , м	0,108;
товщина стінки патрубку, S_T , м	0,006;
висота штуцера, H_T , м	0,155.

Приймаємо стандартний штуцер для виходу вторинної пари за ОСТ 26-1403-76:

умовний діаметр, D_y , м	0,7;
товщина стінки патрубку, S_T , м	0,012;
висота штуцера, H_T , м	0,4.

Приймаємо стандартний штуцер для входу гріючої пари за ОСТ 26-1403-76:

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		50

умовний діаметр, D_y , м	0,3;
зовнішній діаметр патрубку, d_T , м	0,325;
товщина стінки патрубку, S_T , м	0,01;
висота штуцера, H_T , м	0,19.

Приймаємо стандартний штуцер для виходу конденсату за ОСТ 26-1403-76:

умовний діаметр, D_y , м	0,1;
зовнішній діаметр патрубку, d_T , м	0,108;
товщина стінки патрубку, S_T , м	0,006;
висота штуцера, H_T , м	0,155.

Висновок: в результаті проведеного розрахунку були визначені діаметри патрубків штуцерів і визначені дійсні швидкості руху теплоносіїв.

5.4 Розрахунок товщини циліндричної обичайки навантаженої внутрішнім тиском

Метою розрахунку є визначення товщини стінки обичайки, що знаходиться під дією внутрішнього тиску, із урахуванням додатків на корозію та перевірка її на міцність.

Розрахункова схема наведена на рисунку 5.5.

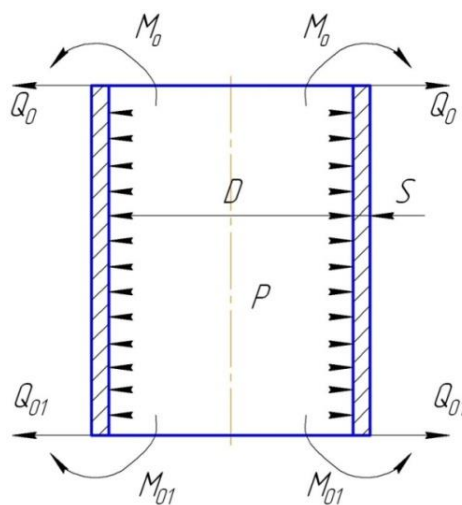


Рисунок 5.5 – Розрахункова схема циліндричної обичайки, навантаженої внутрішнім тиском

Вихідні дані:

Розрахункова температура у міжтрубному просторі t_k , °C, 165;

Тиск, у міжтрубному просторі p_{MT} , МПа 0,7;

Діаметр D_3 , м 1,2;

Розрахунок проведено за методикою, наведеною в літературі [13, с. 7 – 10].

Для сталі марки 12X18H10T за розрахункової температури $t=165^\circ\text{C}$ допустиме напруження [9]:

$$[\sigma]=165,6 \text{ МПа.}$$

Розрахунковий коефіцієнт міцності зварного шва ϕ_p .

$$\phi_p=0,9$$

Розрахункова товщина стінки циліндричної обичайки $S_{R,M}$.

$$S_R = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p - p} = \frac{0,7 \cdot 1,2}{2 \cdot [165,6] \cdot 0,9 - 0,7} = 2,825 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії і ерозії C_1 :

$$c_1 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки у першому наближенні:

$$S = S_R + c_1 = (2,825 + 4) \cdot 10^{-3} = 6,825 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску c_2 :

$$c_2 = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Граничне відхилення по товщині прокату листового прокату залежно від товщини приймається за [14, с.266-267].

Технологічний додаток до розрахункової товщини c_3 :

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		52

$$c_3=0.$$

Сума додатків:

$$c=c_1+c_2+c_3=(4+0,5+0)\cdot 10^{-3}=4,5\cdot 10^{-3}\text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки S:

$$S=S_R+c=(2,825+4,5)\cdot 10^{-3}=7,325\cdot 10^{-3}\text{ м.}$$

Приймаємо $S=8\cdot 10^{-3}\text{ м}$

Допустимий внутрішній надлишковий тиск [p]:

$$[p]=\frac{2\cdot [\sigma]\cdot \phi_p\cdot (S-C)}{D+S-C}=\frac{2\cdot [165,6]\cdot 0,9\cdot (8-4,5)}{1200+8-4,5}=0,867\text{ МПа.}$$

Перевірка умови міцності

$$p\leq [p], 0,7\text{ МПа}\leq 0,867\text{ МПа.}$$

Умова міцності виконується, отже вибрана товщина стінки 0,008 м обичайки забезпечує міцність апарата в умовах робочих навантажень.

Висновок: умова міцності виконується, отже вибрана товщина стінки 0,008 м обичайки забезпечує міцність апарата в умовах робочих навантажень.

5.5 Розрахунок товщини циліндричної обичайки навантаженої зовнішнім тиском

Метою розрахунку є визначення товщини стінки обичайки, що знаходиться під дією зовнішнього тиску.

Розрахункова схема наведена на рисунку 5.6.

Вихідні дані:

Діаметр D , м 1,2;

Висота H , м 2,5;

Тиск p_R , МПа 0,1;

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		53

Матеріал

Сталь 12X18H10T

Розрахунок проведено за методикою, наведеною в літературі [13, с. 7-9].

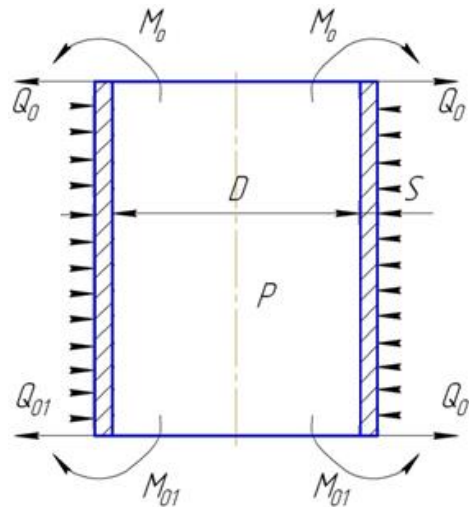


Рисунок 5.6 – Розрахункова схема циліндричної обичайки, навантаженої зовнішнім тиском

Коефіцієнт K_2 визначаєм по номограмі [13, с. 8]

$$K_1 = \frac{n_y \cdot P}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot E} = 0,437, \quad (5.1)$$

де $n_y = 2,4$ - коефіцієнт запасу міцності, $E = 1,98$ - модуль пружності.

$$K_3 = \frac{H}{D} = 2,083, \quad (5.2)$$

тоді:

$$K_2 = 0,4.$$

Товщина стінки:

$$S_R = \max \left\{ K_2 \cdot 10^{-2}; \frac{11 \cdot p \cdot D}{2 \cdot [\sigma]} \right\} = 0,004 \text{ м} \quad (5.3)$$

Додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії і ерозії c_1 :

$$c_1 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		54

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки у першому наближенні S :

$$S = S_R + c_1 = 0,004 + 0,002 = 9,4 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (5.4)$$

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску c_2 :

$$c_2 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Технологічний додаток до розрахункової товщини c_3 :

$$c_3 = 0 \text{ м}$$

Сума додатків розрахункової товщини c :

$$c = c_1 + c_2 + c_3 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (5.5)$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки S :

$$S = S_R + c = 7 \cdot 10^{-3} \text{ м.} \quad (5.6)$$

Приймаємо $S = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

Допустимий тиск із умови міцності

$$[P]_L = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S - c)}{D + S - c} = \frac{2 \cdot 165,6 \cdot (8 - 3)}{1200 + 8 - 3} = 1,374 \text{ МПа.} \quad (5.7)$$

Допустимий тиск з умови стійкості в межах пружності

$$[P]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot E \cdot D}{n_y \cdot B_1 \cdot L} \left(\frac{100(S - c)}{D} \right)^{2,5} = 0,135 \text{ МПа.} \quad (5.8)$$

де $L = H$ - приведена довжина, визначено з літератури [13, с. 14].

$$B_1 = \min \left\{ 1; 9,45 \frac{D}{L} \sqrt{\frac{D}{100(S - c)}} \right\} = 0,709 \quad (5.9)$$

Допустимий зовнішній тиск:

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ док.м.	Підпис	Дат		55

$$[P] = \frac{[P]_{II}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_{II}}{[P]_E}\right)^2}} = 0,134 \text{ МПа.} \quad (5.10)$$

Умова міцності та стійкості:

$$[P] \geq P,$$

$$0,134 \text{ МПа} \geq 0,1 \text{ МПа.}$$

Висновок: попередньо прийнята товщина стінки в розрахунку обичайки під дією внутрішнього тиску забезпечує міцність та стійкість конструкції, але для забезпечення більшої надійності, приймемо товщину обичайки рівну 10 мм.

5.6 Розрахунок еліптичного днища

Метою розрахунку є визначення товщини стінки еліптичної кришки і перевірка її на міцність.

Розрахункова схема наведена на рисунку 5.7.

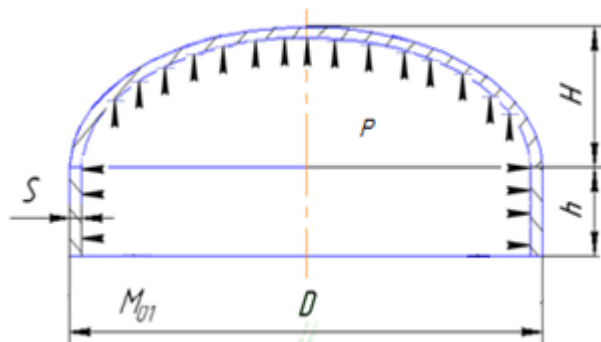


Рисунок 5.7 – Схема до розрахунку еліптичного днища

Вихідні дані:

Діаметр апарата D, м 2,8;

Тиск p_R , МПа 0,7;

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		56

Матеріал

Сталь 12X18H10T

Розрахунок проведено за методикою, наведеною в літературі [14, с. 168-173].

Внутрішній радіус кривизни у вершині днища R_e :

$$R_e = \frac{D^2}{4 \cdot h_b} = \frac{2,8^2}{4 \cdot 0,7} = 2,8 \text{ м},$$

де

$$h_b = 0,25 \cdot D = 0,25 \cdot 2,8 = 0,7 \text{ м}$$

Допустиме напруження матеріалу кришки за розрахункової температури $[\sigma]$, за розрахункової температури $t=165^\circ$ [13].

$$[\sigma] = 165,6 \text{ МПа.}$$

Розрахунковий коефіцієнт міцності зварного шва ϕ_p .

$$\phi_p = 0,9.$$

Розрахункова товщина стінки днища S_R .

$$S_R = \frac{p \cdot R_e}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p - p} = \frac{0,7 \cdot 2,8}{2 \cdot 165,6 \cdot 0,9 - 0,7} = 6,391 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії і ерозії c_1 :

$$c_1 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки кришки у першому наближенні:

$$S = S_R + c_1 = (6,391 + 4) \cdot 10^{-3} = 0,011 \text{ м.}$$

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску c_2 :

$$c_2 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Технологічний додаток до розрахункової товщини c_3 :

$$c_3 = 0.$$

Сума додатків розрахункової товщини c :

$$c = c_1 + c_2 + c_3 = (4 + 1 + 0) \cdot 10^{-3} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		57

Виконавча товщина стінки днища:

$$S = S_R + C = (6,391 + 5) \cdot 10^{-3} = 11,391 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Приймаємо $S = 0,012 \text{ м}$.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p \cdot (S - C)}{R_e + 0.5 \cdot (S - C)} = \frac{2 \cdot 165,6 \cdot 0,9 \cdot (12 - 5) \cdot 10^{-3}}{2,8 + 0,7 \cdot (12 - 5) \cdot 10^{-3}} = 0,744 \text{ МПа.}$$

17. Перевірка умови міцності

$$[p] \geq p,$$

$$0,744 \text{ МПа} \geq 0,7 \text{ МПа.}$$

Висновок: умова міцності виконується, отже вибрана товщина стінки 0,012 м забезпечує міцність кришки апарата в умовах робочих навантажень.

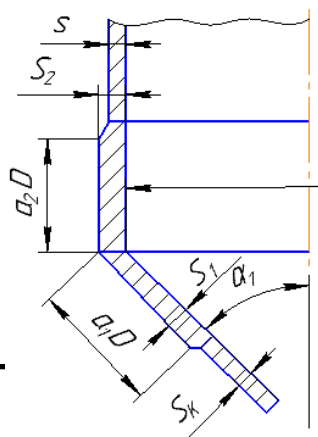
5.7 Розрахунок конічного днища

Метою розрахунку є визначення товщини стінки конічного днища і перевірка його на міцність.

Розрахункова схема наведена на рисунку 5.8.

Вихідні дані:

Діаметр апарата D , м	1,2;
Тиск p_R , МПа	0,7;
Матеріал	Сталь 12Х18Н10Т;
Товщина стінки S , мм	12;
Діаметр отвору d , мм	108;
Додаток до розрахункової довжини c , мм	4,8;



Змн.	Адк.	№ док.м.	Підпис	Дат

342.001 ПЗ

Адк.

58

Рисунок 5.8 – Схема до розрахунку кінчного днища

Розрахунок проведено за методикою, наведеною в літературі [13, с. 40-41].

Розрахунок довжини перехідних частин:

$$a_1 = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{D}{\cos \alpha_1} \cdot (S - c)} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{1,2}{\cos 60^\circ} \cdot (0,012 - 0,0048)} = 0,092 \text{ м.}$$

Розрахунок діаметру гладкої кінчної обичайки:

$$\begin{aligned} D_K &= D - 2 \cdot [d \cdot (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) + 0,7 \cdot a_1 \cdot \sin \alpha_1] = \\ &= 1,2 - 2 \cdot [0,108 \cdot (\cos 0^\circ - \cos 60^\circ) + 0,7 \cdot 0,092 \cdot \sin 60^\circ] = 0,98 \text{ м.} \end{aligned}$$

Розрахунок товщини стінки;

$$S_{KR} = \frac{P \cdot D_K}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1} = \frac{0,7 \cdot 0,98}{2 \cdot 165,6 \cdot 0,9 - 0,7} \cdot \frac{1}{\cos 60^\circ} = 4,616 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії і ерозії c_1 :

$$c_1 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки у першому наближенні:

$$S_K = S_{KR} + c_1 = (4,616 + 4) \cdot 10^{-3} = 8,616 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску c_2 :

$$c_2 = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Технологічний додаток до розрахункової товщини c_3 :

$$c_3 = 0.$$

Сума додатків розрахункової товщини c :

$$c = c_1 + c_2 + c_3 = (4 + 0,8 + 0) \cdot 10^{-3} = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Дійсна товщина стінки днища:

$$S = S_K + c = (8,616 + 4,8) \cdot 10^{-3} = 9,416 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Приймаємо $S = 0,011 \text{ м.}$

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		59

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p \cdot (S - C)}{\frac{D}{\cos \alpha_1} + S - C} = \frac{2 \cdot 165,6 \cdot 0,9 \cdot (11 - 4,8) \cdot 10^{-3}}{\frac{1,2}{\cos 60^\circ} + (11 - 4,8) \cdot 10^{-3}} = 0,816 \text{ МПа}$$

Перевірка умови міцності

$$[p] \geq p$$

$$0,816 \text{ МПа} \geq 0,7 \text{ МПа}$$

Висновок: Таким чином, умова міцності виконується, отже вибрана товщина стінки 0,011 м забезпечує міцність апарата в умовах робочих навантажень.

5.8 Розрахунок фланцевого з'єднання

Мета розрахунку: розрахувати фланцеве з'єднання, що складається з двох

плоских приварних фланців, зробити перевірку міцності прокладки та болтів, а також перевірити на міцність та герметичність фланцеве з'єднання.

Розрахункова схема фланцевого з'єднання показана на рисунку 5.9.

Вихідні дані:

Внутрішній тиск P , МПа	0,7;
Температура середовища t , °C	165;
Внутрішній діаметр фланцевого з'єднання D , м	1,2;
Товщина стінки апарату S_0 , м	0,012;

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		60

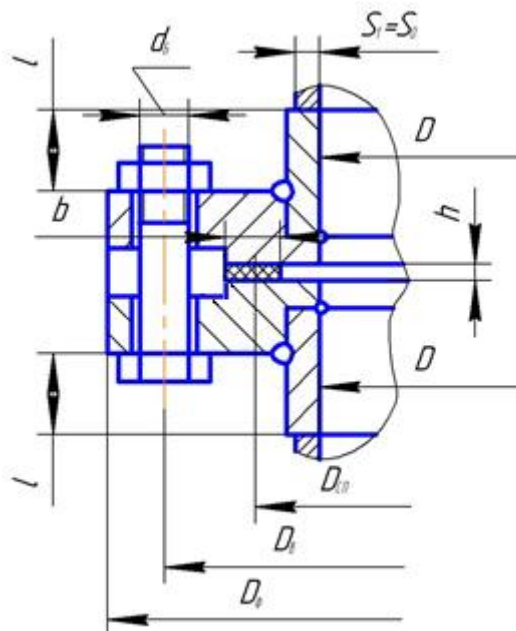


Рисунок 5.9 – Розрахункова схема фланцевого з'єднання

Товщина прокладки h , м 0,002;

Ширина прокладки b , м 0,02.

Діаметр ботів b_b , 0,02

Розрахунок здійснено за методикою, наведеною у літературі [15, с. 62-68].

I. Розрахунок допоміжних величин.

Діаметр болтової окружності:

$$D_b = D + 2 \cdot (2 \cdot S_0 + d_b + u) = 1,2 + 2 \cdot (2 \cdot 0,0014 + 0,02 + 0,005) = 1,306$$

Де $u = 0,005$ – допоміжний коефіцієнт.

Зовнішній діаметр прокладки:

$$D_3 = D_b - e = 1,306 - 0,03 = 1,276$$

Відношення більшої товщини втулки до меншої приймаємо $\beta = 1$.

Середній діаметр прокладки:

Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат

ЛН91.065342.001 ПЗ

Адк.

61

$$D_{\text{сп}} = D_3 - b = 1,276 - 0,02 = 1,256 \text{ м},$$

b – ширина прокладки за таблицею 2 [15], $b = 0,02 \text{ м}$.

Ефективна ширина прокладки:

$$\text{при } b > 0,015 \text{ м } b_E = 0,06 \cdot \sqrt{b} = 0,06 \cdot \sqrt{0,02} = 8,485 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

$$D_\phi = D_b + a = 1,306 + 0,04 = 1,346$$

де $a = 0,04$ – допоміжний коефіцієнт [15],

Конструктивний коефіцієнт для фланців:

$$K_\phi = \frac{D_\phi}{D} = \frac{1,346}{1,2} = 1,122,$$

де D_ϕ – зовнішній діаметр фланця.

Конструктивні коефіцієнти для фланців:

$$\lambda_{\phi 1} = \frac{h_{\phi 1}}{\sqrt{D \cdot S_0}} = \frac{0,053}{\sqrt{1,2 \cdot 0,012}} = 0,405 \text{ м},$$

$$\lambda_{\phi 2} = \frac{h_{\phi 2}}{\sqrt{D \cdot S_0}} = \frac{0,053}{\sqrt{1,2 \cdot 0,012}} = 0,405 \text{ м},$$

де $h_{\phi 1}$ та $h_{\phi 2}$ – висота першого та другого фланців, $h_{\phi 1} = h_{\phi 2} = 0,053 \text{ м}$.

Поправковий коефіцієнт для фланців:

$$\psi_{1\phi} = 1,28 \lg(K_\phi) = 1,28 \lg(1,122) = 0,064 \text{ м},$$

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		62

$$\psi_{2\phi} = \frac{K_{\phi} + 1}{K_{\phi} - 1} = \frac{1,122 + 1}{1,122 - 1} = 17,438$$

Поправковий коефіцієнт для перерізу S_0 приймаємо $\psi_3 = 1$.

Геометричні параметри фланців:

$$j_{\phi 1} = \frac{h_{\phi 1}}{S_0} = \frac{0,053}{0,012} = 3,753$$

$$j_{\phi 2} = \frac{h_{\phi 2}}{S_0} = \frac{0,053}{0,012} = 3,753$$

Безрозмірний параметр фланців:

$$T_{\phi} = \frac{K_{\phi}^2 (1 + 8,55 \log(K_{\phi})) - 1}{(1,05 + 1,945 K_{\phi}^2)(K_{\phi} - 1)} = \frac{1,122^2 (1 + 8,55 \log(1,122)) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot 1,122^2)(1,122 - 1)} = 1,867$$

Безрозмірні параметри фланців:

$$\begin{aligned} \omega_{\phi 1} &= [1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1} \cdot (1 + \psi_{1\phi} \cdot j_{\phi 1}^2)]^{-1} = \\ &= [1 + 0,9 \cdot 0,405 \cdot (1 + 0,064 \cdot 3,753^2)]^{-1} = 0,591, \\ \omega_{\phi 2} &= [1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2} \cdot (1 + \psi_{1\phi} \cdot j_{\phi 2}^2)]^{-1} = \\ &= [1 + 0,9 \cdot 0,405 \cdot (1 + 0,064 \cdot 3,753^2)]^{-1} = 0,591, \end{aligned}$$

Кутова піддатливість фланців:

$$\begin{aligned} y_{\phi 1} &= \frac{[1 - \omega_{\phi 1} (1 + 0,9 \lambda_{\phi 1})] \psi_{2\phi}}{h_{\phi 1}^3 \cdot E_{\phi 1}} = \frac{[1 - 0,591 (1 + 0,9 \cdot 0,405)] \cdot 17,438}{0,053^3 \cdot 1,98 \cdot 10^5} = 0,114 \frac{1}{\text{МН} \cdot \text{м}^2}, \\ y_{\phi 2} &= \frac{[1 - \omega_{\phi 2} (1 + 0,9 \lambda_{\phi 2})] \psi_{2\phi}}{h_{\phi 2}^3 \cdot E_{\phi 2}} = \frac{[1 - 0,591 (1 + 0,9 \cdot 0,405)] \cdot 17,438}{0,053^3 \cdot 1,98 \cdot 10^5} = 0,114 \frac{1}{\text{МН} \cdot \text{м}^2}, \end{aligned}$$

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		63

де $E_{\phi 1}^t$ та $E_{\phi 2}^t$ – модулі пружності матеріалу фланців, $E_{\phi 1}^t = E_{\phi 2}^t = 1,98 \cdot 10^5$ МПа.

Розрахункова довжина болтів фланцевого з'єднання:

$$L_B = h_{\phi 1} + h_{\phi 2} + h + 0,28 \cdot d_B = 0,053 + 0,053 + 0,002 + 0,28 \cdot 0,02 = 0,113 \text{ м},$$

де d_B – діаметр болта, $d_B = 0,02$ м.

Лінійна піддатливість неметалевої прокладки:

$$y_{\Pi} = \frac{h}{\pi D_{cn} \cdot b E_n} = \frac{0,002}{3,14 \cdot 1,256 \cdot 0,02 \cdot 195} = 1,3 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{НМ}},$$

де E_n – модуль пружності прокладки, $E_n = 195$ МПа.

Площа поперечного перерізу болта:

$$f_B = 0,785 \cdot d_o^2 = 0,785 \cdot 0,023^2 = 4,153 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

де d_o – діаметр отвору, $d_o = 0,023$ м.

Лінійна піддатливість болтів:

$$y_B = \frac{L_B}{E_B^t \cdot f_B \cdot z_B} = \frac{0,113}{1,98 \cdot 10^5 \cdot 4,153 \cdot 10^{-4} \cdot 48} = 2,757 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}}{\text{НН}},$$

де E_B^t – модуль пружності болта, $E_B^t = 1,92 \cdot 10^5$ МПа;

z_B – кількість болтів у фланцевому з'єднанні, $z_B = 48$.

Параметр жорсткості фланцевого з'єднання:

$$A_{\phi} = [y_{\Pi} + y_B + 0,25 \cdot (y_{\phi 1} + y_{\phi 2}) \cdot (D_B - D_{cn})^2]^{-1} =$$

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		64

$$= [1,3 \cdot 10^{-4} + 2,757 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (0,114 + 0,114) \cdot (1,306 - 1,256)^2]^{-1} = 3338 \text{ м/МН.}$$

Параметри жорсткості фланців:

$$B_{\phi 1} = y_{\phi 1} \cdot (D_B - D - S_o) = 0,114 \cdot (1,306 - 1,2 - 0,012) = 0,01 \text{ 1/МН,}$$

$$B_{\phi 2} = y_{\phi 2} \cdot (D_B - D - S_o) = 0,114 \cdot (1,306 - 1,2 - 0,012) = 0,01 \frac{1}{\text{МН}},$$

Безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання:

$$\gamma = A_{\phi} \cdot y_B = 3338 \cdot 2,757 \cdot 10^{-5} = 0,092.$$

Безрозмірний коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$\alpha_{\phi} = A_{\phi} \cdot [y_B + 0,25 \cdot (B_{\phi 1} + B_{\phi 2}) \cdot (D_B - D_{\text{сп}})] = 3338 \cdot [2,757 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (0,01 + 0,01) \cdot (1,306 - 1,256)] = 0,964,$$

де D_B – діаметр болтового кола, $D_B = 1,306 \text{ м.}$

II. Розрахунок болтів фланцевого з'єднання

$$t_6 = t_{\phi} \cdot 0,97 = 165 \cdot 0,97 = 160,05^{\circ}\text{C}$$

Рівнодіюча внутрішнього тиску:

$$Q_d = 0,785 \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot p = 0,785 \cdot 1,256^2 \cdot 0,7 = 0,867 \text{ МН.}$$

Реакція прокладки у робочих умовах:

$$R_n = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_E \cdot k_{pr} \cdot 0,7 = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,256 \cdot 0,017 \cdot 0,5 \cdot 0,7 = 0,047 \text{ МН.}$$

Зусилля, що виникає від температурної деформації фланцевого з'єднання:

$$Q_{t\phi} = \gamma \cdot z_B \cdot f_B \cdot E_B^t \cdot (\alpha_{\phi}^t \cdot t_{\phi} - \alpha_B^t \cdot t_B) =$$

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		65

$$= 0,92 \cdot 48 \cdot 4,153 \cdot 10^{-4} \cdot 1,98 \cdot 10^5 \cdot (0,964 \cdot 165 - 0,5 \cdot 160,05) = 2,975 \text{ МН.}$$

Монтажне болтове навантаження фланцевого з'єднання за різних умов розрахунку:

$$P'_{Б1} = \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_E \cdot q = 3,14 \cdot 1,256 \cdot 0,017 \cdot 3 \cdot 10^4 = 2,009 \text{ МН,}$$

$$P''_{Б1} = \alpha_{\phi} (Q_d + P) + R_n + \frac{4M}{D_{\text{сп}}} = 0,964(0,867 + 0) + 0,047 + \frac{4 \cdot 0}{1,828} = 0,883 \text{ МН.}$$

$$P'''_{Б1} = 0,4 \cdot [\sigma_B]^{20} \cdot Z_B \cdot f_B = 0,4 \cdot 184 \cdot 48 \cdot 4,153 \cdot 10^{-4} = 1,32 \text{ МН.}$$

Розрахункове навантаження на болти $p \leq 0,7$ МПа, тому:

$$P_{Б1} = \max\{P'_{Б1}; P''_{Б1}; P'''_{Б1}\} = \max\{2,009; 0,883; 1,32\} = 2,009 \text{ МН.}$$

Умова міцності прокладки:

$$\frac{P_{Б1}}{\pi D_{\text{сп}} \cdot b} = \frac{2,009}{3,141,256 \cdot 0,02} = 0,025 \leq [q] = 180 \text{ МПа.}$$

Умова міцності виконується.

Болтове навантаження за робочих умов:

$$\begin{aligned} P_{Б2} &= P_{Б1} + (1 - \alpha_{\phi}) \cdot (Q_d + P) + Q_{t\phi} = \\ &= 2,009 + (1 - 0,964) \cdot (0,866 + 0) + 29,753 = 31,762 \text{ МН.} \end{aligned}$$

Розрахункове навантаження на болти:

$$P_{Б\phi} = \max\{P_{Б1}; P_{Б2}\} = \{2,009; 31,762\} = 31,762 \text{ МН.}$$

Напруження в болтах за умов монтажу:

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		66

$$\sigma_B^{20} = \frac{P_{B1}}{z_B \cdot f_B} = \frac{2,009}{48 \cdot 4,153 \cdot 10^{-4}} = 100,7 \text{ МПа.}$$

Напруження розтягування в болтах за робочих умов:

$$\sigma_B^t = \frac{P_{B2}}{z_B \cdot f_B} = \frac{31,762}{48 \cdot 4,153 \cdot 10^{-4}} = 1,593 \text{ МПа.}$$

Скручуючий момент, що виникає від розтягування гайок:

$$M_{скр} = f_1 \cdot \frac{P_{Бф}}{z_B} \cdot d_B = 0,1 \cdot \frac{31,762}{48} \cdot 0,02 = 8,37 \cdot 10^{-6} \text{ МН·м}$$

Дотичне напруження в болтах:

$$\tau_B = \frac{M_{скр}}{0,2 \cdot d_o^3} = \frac{8,37 \cdot 10^{-6}}{0,2 \cdot 0,023^3} = 3,44 \text{ МПа.}$$

Еквівалентні напруження в болтах:

$$\sigma_B^{20} = \sqrt{(\sigma_B^{20})^2 + 3 \cdot \tau_B^2} = \sqrt{100,784^2 + 3 \cdot 3,44^2} = 100,96 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_B^t = \sqrt{(\sigma_B^t)^2 + 3 \cdot \tau_B^2} = \sqrt{1,593^2 + 3 \cdot 3,44^2} = 6,167 \text{ МПа.}$$

Умови міцності болтів:

$$\sigma_B^{20} = 100,96 \text{ МПа} \leq [\sigma_B]^{20} = 184 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_B^t = 6,167 \text{ МПа} \leq [\sigma_B]^t = 165 \text{ МПа.}$$

Умови міцності виконуються.

III. Розрахунок фланців на міцність

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ док.м.	Підпис	Дат		67

34. Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланців за умов монтажу:

$$M_{01\phi} = 0,5 \cdot P_{Б\phi} \cdot (D_{Б} - D_{сн}) = 0,5 \cdot 31.762 \cdot (1,306 - 1,256) = 0,05 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланця за робочих умов:

$$M_{02\phi} = 0,5 \left[P_{Б2} \cdot (D_{Б} - D_{сн}) + Q_{\phi} \cdot (D_{сн} - D - S_0) \right] \cdot \frac{[\sigma_{\phi}]^{20}}{[\sigma_{\phi}]^t} =$$

$$= 0,5 \left[31,762 \cdot (1,306 - 1,256) + 0,867 \cdot (1,256 - 1,2 - 0,012) \right] \cdot \frac{185}{165} = 0,021 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Розрахунковий згинаючий момент у діаметральному перерізі фланця:

$$M_{0\phi} = \max\{0,05; 0,021\} = \{0,05; 0,021\} = 0,05 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

37. Максимальні напруження в перерізі S_0 фланців від дії вигинаючого моменту $M_{0\phi}$:

$$\sigma_{0\phi1} = \psi_3 \cdot \frac{T_{\phi} \cdot M_{0\phi} \cdot \omega_{\phi1}}{D^* \cdot (S_0 - c)^2} = 1 \cdot \frac{1,867 \cdot 0,050,591}{1,2 \cdot (0,012 - 0,0048)^2} = 368,081 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{0\phi2} = \psi_3 \cdot \frac{T_{\phi} \cdot M_{0\phi} \cdot \omega_{\phi2}}{D^* \cdot (S_0 - c)^2} = 1 \cdot \frac{1,867 \cdot 0,050,591}{1,2 \cdot (0,012 - 0,0048)^2} = 368,081 \text{ МПа},$$

де $D^* = D = 1,2 \text{ м}$, якщо $D = 1,2 \geq 20 \cdot S_0 = 20 \cdot 0,012 = 0,24 \text{ м}$.

Максимальні кільцеві напруження в дисках фланців від дії згинаючого моменту $M_{0\phi}$:

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		68

$$\sigma_{\kappa\phi 1} = \frac{M_{0\phi} \left[1 - \omega_{\phi 1} (1 + 0,9 \lambda_{\phi 1}) \right] \psi_{2\phi}}{D h_{\phi 1}^2} = \frac{0,05 \left[1 - 0,591 (1 + 0,90,405) \right] 17,438}{1,20,053^2} = 51,22 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{\kappa\phi 2} = \frac{M_{0\phi} \left[1 - \omega_{\phi 2} (1 + 0,9 \lambda_{\phi 2}) \right] \psi_{2\phi}}{D h_{\phi 2}^2} = \frac{0,05 \left[1 - 0,591 (1 + 0,90,405) \right] 17,438}{1,20,053^2} = 51,22 \text{ МПа},$$

Кільцеве та меридіанне напруження у циліндричній втулці фланця від дії внутрішнього тиску p :

$$\sigma_{x\phi 1} = \sigma_{x\phi 2} = \frac{P \cdot D}{2(S_0 - c)} = \frac{0,71,2}{2(0,012 - 0,0048)} = 37,5 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{y\phi 1} = \sigma_{y\phi 2} = \frac{P \cdot D}{4(S_0 - c)} = \frac{0,71,2}{4(0,012 - 0,0048)} = 18,75 \text{ МПа}.$$

Еквівалентні напруження в перерізі циліндричної втулки фланців:

$$\sigma_{E\phi 1} = \sqrt{(\sigma_{0\phi 1} + \sigma_{y\phi 1})^2 + \sigma_{x\phi 1}^2 - (\sigma_{0\phi 1} + \sigma_{y\phi 1}) \cdot \sigma_{x\phi 1}} =$$

$$\sqrt{(368,08 + 18,75)^2 + 37,5^2 - (368,08 + 18,75) \cdot 37,5} = 369,51 \text{ МПа},$$

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

$$\sqrt{(368,08 + 18,75)^2 + 37,5^2 - (368,08 + 18,75) \cdot 37,5} = 369,51 \text{ МПа},$$

Умова міцності:

$$\left[\sigma_{\phi 1}^{S_0} \right] = \left[\sigma_{\phi 2}^{S_0} \right] = 0,003 \cdot E_{\phi 1}^t = 0,003 \cdot E_{\phi 2}^t = 0,003 \cdot 2,05 \cdot 10^5 = 615 \text{ МПа}.$$

$$\sigma_{E\phi 1} = 369,51 \text{ МПа} \leq \left[\sigma_{\phi 1}^{S_0} \right] \cdot \varphi = 615 \cdot 0,9 = 553,5 \text{ МПа}$$

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ док.м.	Підпис	Дат		69

$$\sigma_{\text{Еф2}} = 369,51 \text{ МПа} \leq [\sigma_{\text{ф2}}^{S_o}] \cdot \varphi = 615 \cdot 0,9 = 553,5 \text{ МПа}.$$

Умови міцності виконуються

Умови герметичності:

При $D = 1,2 \leq 2 \text{ м}$ $[\theta] = 0,009 \text{ рад}$

$$\frac{\sigma_{\text{кф1}} \cdot D}{E_{\text{ф1}}^t \cdot h_{\text{ф1}}} = \frac{51.22 \cdot 1,2}{1,98 \cdot 0,053} = 0,005 < [\theta] = 0,009,$$

$$\frac{\sigma_{\text{кф2}} \cdot D}{E_{\text{ф2}}^t \cdot h_{\text{ф2}}} = \frac{51.22 \cdot 1,2}{1,98 \cdot 0,053} = 0,005 < [\theta] = 0,009.$$

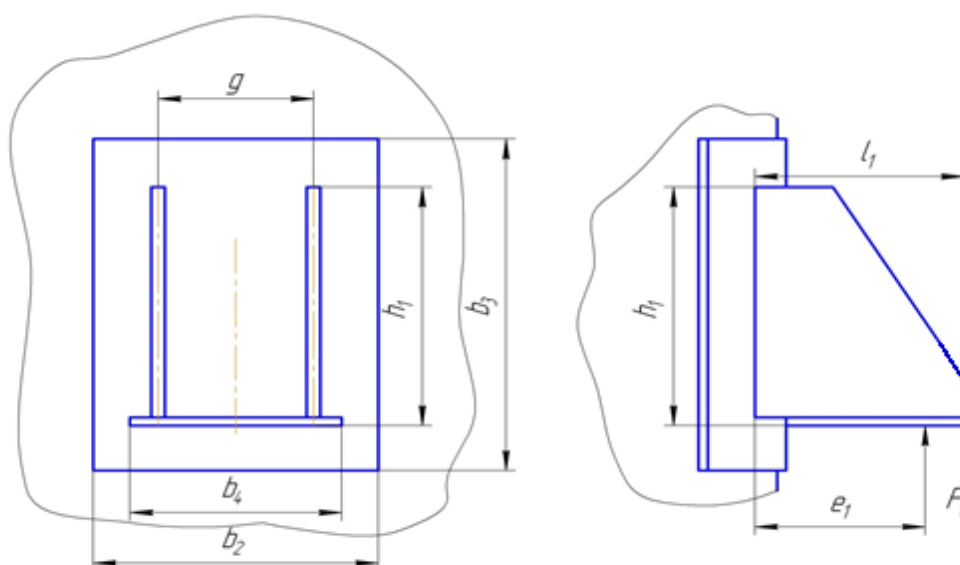
Умови герметичності виконуються.

Висновок: В результаті розрахунку був прийнятий плоский приварний фланець для діаметра гріючої камери $D=1,2 \text{ м}$, тиском $P=0,7 \text{ МПа}$. Умови міцності та герметичності фланцевого з'єднання виконуються.

5.9 Розрахунок несучої спроможності вертикальних циліндричних обичайок від дії реакції опорних лап

Мета: перевірити несучу спроможність обичайки під дією опорних навантажень.

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ доквм.	Підпис	Дат		70



Розрахункова схема наведена на рисунку 5.10.

Рисунок 5.10 – Розрахункова схема

Вихідні данні

Виліт опори l_1 , м	0,48;
Товщина стінки апарату S , м	0,012;
Висота опори h_1 , м	0,695;
Діаметр апарату внутрішній D , м	1,2;
Число опор z	4;
Допустиме напруження $[\sigma]$, МПа	165.6;
Ширина стійки b_4 , м	0,5;
Робочий тиск P , МПа	0,7;
Вага G , МН	0,36.

Розрахунок здійснено за методикою, наведеною у літературі [16, с. 69 – 79].

Розрахунковий діаметр обичайки:

$$D_R = D = 1,2 \text{ м.}$$

Умова застосування формул:

$$\frac{(S-c)}{D_R} \leq 0,05$$

$$\frac{(0,012-0,0048)}{1,2} = 0,006 \leq 0,05$$

де C – прибавка до товщини листа.

Умова виконується.

Відстань між точкою прикладання зусилля та обичайкою або підкладним листом:

$$e_1 = 5 \cdot \frac{l_1}{6} = 5 \cdot \frac{0,48}{6} = 0,4 \text{ м.}$$

Загальні мембранні напруження:

$$\sigma_{my} = \frac{P \cdot D_R}{2 \cdot (S - C)} = \frac{0,7 \cdot 1,2}{2 \cdot (0,012 - 0,0048)} = 58,33 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт $K_2=1,2$ – для робочих умов

Коефіцієнт міцності зварного шва:

Якщо $f > \sqrt{D_R \cdot S}$ то $\phi=1$, інакше ϕ - за умовою задачі.

$$\sqrt{D_R \cdot S} = \sqrt{1,2 \cdot 0,012} = 0,12 > 0,1$$

отже $\phi=0,9$.

Перевірка несучої спроможності вузла приварки опорної лапи до циліндричної обичайки без підкладного листа.

Загальні мембранні напруження у циліндричних обичайках для $\phi=0,9$:

$$\sigma_m = \sigma_{my} = 58,33 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт, що враховує ступінь навантаження загальними напруженнями:

$$v_2 = \frac{K_2}{n_T} \cdot \frac{\sigma_m}{[\sigma] \cdot \phi} = \frac{1,2}{1,5} \cdot \frac{58,33}{165,6 \cdot 0,9} = 0,313$$

Коефіцієнт що враховує відношення місцевих мембранних напружень до місцевих напружень вигину.

Якщо $v_2 \geq 0, v_1 = 0,3$.

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		72

Коефіцієнт K_1

$$K_1 = \frac{1+3 \cdot v_1 \cdot v_2}{3 \cdot v_1^2} \cdot \left(\sqrt{\frac{9 \cdot v_1^2 (1-v_2^2)}{(1+3 \cdot v_1 \cdot v_2)^2} + 1} - 1 \right) = \frac{1+3 \cdot 0,3 \cdot 0,313}{3 \cdot 0,3^2} \cdot \left(\sqrt{\frac{9 \cdot 0,3^2 (1-0,313^2)}{(1+3 \cdot 0,3 \cdot 0,313)^2} + 1} - 1 \right) = 1,303.$$

Граничне напруження вигину обичайки у місці приварки опорної лапи:

$$[\sigma_i] = K_1 \cdot [\sigma] \cdot \frac{n_T}{K_2} = 1,303 \cdot 165,6 \cdot \frac{1,5}{1,2} = 269,7 \text{ МПа.}$$

Геометричні параметри конструктивних вузлів приєднання опорних лап до обичайки:

$$u = \ln \left[\frac{D_R}{2 \cdot (S-C)} \right] = \ln \left[\frac{1,2}{2 \cdot (0,012 - 0,0048)} \right] = 4,423,$$

$$y = \ln \left(\frac{h_1}{D_R} \right) = \ln \left(\frac{0,695}{1,2} \right) = -0,546,$$

$$y_1 = \ln \left(\frac{b_4}{D_R} \right) = \ln \left(\frac{0,5}{1,2} \right) = -0,875.$$

Коефіцієнт K_7 :

$$K_7 = f_1(u, y)$$

$$\ln z = (-5,964 - 11,395 \cdot u - 18,987 \cdot y - 2,413 \cdot u^2 - 7,286 \cdot uy - 2,042 \cdot y^2 + 0,1322 \cdot u^3 + 0,483 \cdot u^2 \cdot y + 0,8469 \cdot u \cdot y^2 + 1,428 \cdot y^3) \cdot 10^{-2}.$$

$$K_7 = z = 0,501.$$

Зусилля, що діє на опорну лапу, яка приварена до циліндричної обичайки:

$$F_1 = \frac{G}{2} + \frac{M}{D+2 \cdot (e_1+S)} = \frac{0,36}{2} + \frac{0,216}{1,2+2 \cdot (0,4+0,012)} = 0,287 \text{ МН,}$$

де $M = e D_R \cdot G = 0,51 \cdot 20,36 = 0,216 \text{ Нм}$, e – ексцентриситет центра мас.

Допустиме зусилля у вузлі приварки опорної лапи до обичайки:

$$\text{Якщо } \frac{g}{h_1} = \frac{0,384}{0,695} = 0,418 < 0,5$$

$$[F_1] = \frac{[\sigma_i] \cdot h_1 \cdot (S-C)^2}{K_7 \cdot e_1} = \frac{269,7 \cdot 0,695 \cdot (0,012 - 0,0048)^2}{0,501 \cdot 0,4} = 0,048 \text{ МН.}$$

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		73

Умова несучої спроможності опорного вузла:

$$F_1 \leq [F_1].$$

$$0,287 > 0,048$$

Умова міцності несучої спроможності не виконується, потрібно використати підкладний лист.

Обираємо підкладний лист з геометричними розмірами:

$$b_2 = 0,6 \text{ м},$$

$$b_3 = 0,97 \text{ м},$$

$$S_2 = 0,02 \text{ м}.$$

Умови застосування розрахункових формул при наявності підкладного листа:

$$\frac{S-c}{D_R} \leq 0,5,$$

$$\frac{0,012-0,0048}{1,2} = 0,005 \leq 0,5,$$

$$q \geq 0,2 \cdot h_1,$$

$$0,384 \geq 0,2 \cdot 0,695 = 0,139,$$

$$b_2 \geq 0,6 b_3,$$

$$0,6 \geq 0,6 \cdot 0,97 = 0,582,$$

$$b_3 \leq 1,5 h_1,$$

$$0,97 \leq 1,5 \cdot 0,695 = 1,042,$$

$$S_2 \geq S,$$

$$0,02 \geq 0,012.$$

Умови застосування розрахункових формул виконуються.

Загальні мембранні напруження опор в обичайці:

$$\sigma_m = \sigma_{my} = 58,333 \text{ МПа}.$$

Коефіцієнт, який враховує ступінь навантаження загальними

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		74

напруженнями:

$$v_2 = \frac{K_2}{n_T} \cdot \frac{\sigma_m}{[\sigma]} \cdot \phi = \frac{1,2}{1,5} \cdot \frac{58,33}{165,6 \cdot 0,9} = 0,313.$$

Коефіцієнт що враховує відношення місцевих мембранних напружень до місцевих напружень вигину.

Якщо $v_2 \geq 0, v_1 = 0,4$.

Коефіцієнт K_1

$$K_1 = \frac{1+3 \cdot v_1 \cdot v_2}{3 \cdot v_1^2} \cdot \left(\sqrt{\frac{9 \cdot v_1^2 (1-v_2^2)}{(1+3 \cdot v_1 \cdot v_2)^2} + 1} - 1 \right) = \frac{1+3 \cdot 0,4 \cdot 0,313}{3 \cdot 0,4^2} \cdot \left(\sqrt{\frac{9 \cdot 0,4^2 (1-0,313^2)}{(1+3 \cdot 0,4 \cdot 0,313)^2} + 1} - 1 \right) = 0,856.$$

Граничне напруження вигину обичайки у місці приварки опорної лапи:

$$[\sigma_i] = K_1 \cdot [\sigma] \cdot \frac{n_T}{K_2} = 0,856 \cdot 165,6 \cdot \frac{1,5}{1,2} = 177,128 \text{ МПа}.$$

Геометричні параметри конструктивних вузлів приєднання опорних лап до обичайки з підкладним листом:

$$y_2 = \ln\left(\frac{b_3}{D_R}\right) = \ln\left(\frac{0,97}{1,2}\right) = -0,213,$$

Коефіцієнь K_8 , визначається як:

$$K_8 = \min\{f_1(u, y); f(u, y_2)\} = \min\{1,303; 0,213\} = 0,213,$$

де $f_2(u, y_2)$:

$$K_8 = f_2(u, y_2)$$

$$\ln(v) = (-49,919 - 39,119u - 107,01y_2 - 1,694u^2 - 11,920uy_2 - 39,276y_2^2 + 0,237u^3 + 1,608u^2y_2 + 2,716uy_2 - 3,854y_2^3) \cdot 10^{-2}$$

$$K_8 = 0,132.$$

Зусилля що діють на опорну лапу, яка приварена до обичайки з підкладним листом:

$$F_1 = \frac{G}{2} + \frac{M}{D+2 \cdot (e_1+S+S_2)} = \frac{0,36}{2} + \frac{0,216}{1,2+2 \cdot (0,4+0,012+0,020)} = 0,019 \text{ МН}.$$

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		75

Допустиме зусилля в вузлі приварки опорної лапи до обичайки з підкладним листом:

$$\text{Якщо } \frac{b_2}{b_3} = \frac{0,6}{0,97} = 0,619 > 0,5 \text{ то:}$$

$$[F_1] = \frac{[\sigma_i] \cdot b_3 \cdot (S - C)^2}{K_8 \cdot (e_1 + S_2)} = \frac{269,7 \cdot 0,97 \cdot (0,012 - 0,0048)^2}{0,132 \cdot (0,4 + 0,02)} = 0,161 \text{ МН.}$$

Висновок: умова несучої спроможності виконується, за умови збільшення товщини обичайки до 0,012 м, та введення в конструкцію підкладного листа товщиною 0,02 м.

5.10 Розрахунок товщини теплової ізоляції

Мета: розрахувати товщину теплової ізоляції.

Розрахункова схема наведена на рисунку 5.11.

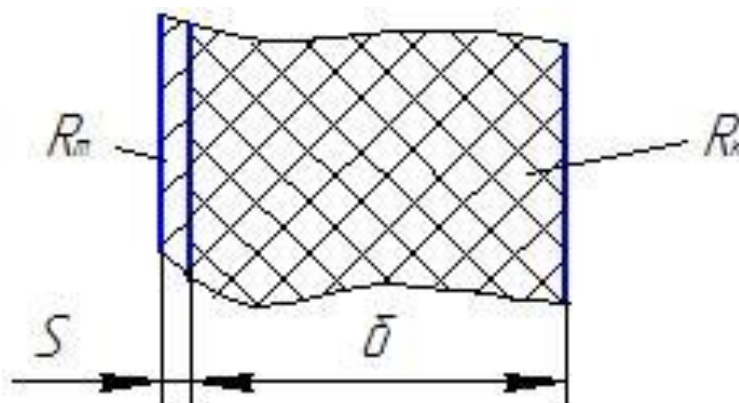


Рисунок 5.11 – Розрахункова схема

Вихідні дані:

Матеріал 12X18H10T;

Діаметр корпусу D, м 1,2;

Температура розчину t_w , °C 165.

Товщину теплової ізоляції розраховуємо за методикою [17, с 87-88].

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

влітку

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
						76
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		

$$t_m = \frac{t_w + 40}{2} = \frac{165 + 40}{2} = 205^\circ\text{C},$$

взимку

$$t'_m = \frac{t_w}{2} = \frac{165}{2} = 82,5^\circ\text{C}.$$

Теплопровідність теплоізоляційного шару в конструкції

влітку

$$\lambda_k = 0,049 + 0,0002 \cdot t_m = 0,049 + 0,0002 \cdot 82,5 = 0,07 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)},$$

взимку

$$\lambda'_k = 0,049 + 0,0002 \cdot t'_m = 0,049 + 0,0002 \cdot 75,55 = 0,064 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}.$$

Оскільки $\lambda_k > \lambda'_k$, то розраховується тільки для літніх умов:

$$\lambda_k = 0,07 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}.$$

Опір теплопередачі теплоізоляційної конструкції

$$R_{tot} = \frac{t_w - t_e}{q \cdot K_1} = \frac{165 - 20}{362 \cdot 1} = 0,468 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}.$$

де q – нормована поверхня щільності теплового потоку, Вт/м²К.

Для території України $K_1 = 1,0$.

Термічний опір теплоізоляційної конструкції:

$$R_k = R_{tot} - \frac{1}{\alpha_e} - R_m = 0,468 - \frac{1}{7} - 0 = 0,325 \text{ м}^2\text{К/Вт},$$

де $\alpha_e = 7 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні ізоляції до оточуючого середовища, за умови що апарат встановлений в приміщенні.

Оскільки обичайка корпусу апарата виготовлена зі сталевого прокату, то термічний опір $R_m = 0$.

Товщина теплоізоляційного шару δ_k :

$$\delta_k = \lambda_k \cdot R_k = 0,07 \cdot 0,325 = 0,023 \text{ м}.$$

Товщина теплоізоляційного виробу δ_1 з матеріалів, що ущільнюються, до встановлення на ізольовану поверхню визначаємо з урахуванням коефіцієнта ущільнення K_c , який для мінераловатних прошивних мат становить 1,2.

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ доквм.	Підпис	Дат		77

Тоді за формулою товщина δ_1 :

$$\delta_1 = \delta_k \cdot K_c \cdot \frac{d + \delta_k}{d + 2 \cdot \delta_k} = 0,0231,2 \cdot \frac{1,224 + 0,023}{1,224 + 2 \cdot 0,023} = 0,027 \text{ м.}$$

де $d = D + 2 \cdot S = 1,8 + 2 \cdot 0,016 = 1,832 \text{ м}$, зовнішній діаметр.

Висновок: Відповідно до ГОСТ 21880-94 теплоізоляційного шару виконується з мінераловатного прошивного матеріалу марки 125, товщина становить 30 мм.

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		78

6 Рекомендації щодо виготовлення, монтажу та експлуатації

Рекомендації розроблені відповідно до матеріалів викладених в [18].

Щоб забезпечити стабільну та довговічну роботу апарату перш за все потрібно подбати про його виготовлення відповідно до всіх вимог для апаратів хімічних виробництв. Особливу увагу потрібно приділити зварним швам та перевірити їх надійність.

Виготовлення обладнання, кожної деталі повинно виконуватися відповідно стандартизованих вимог. Після виготовлення кожної деталі, ці частини повинні бути оглянуті спеціалістами щоб вони відповідали вимогам виготовлення.

Монтажні роботи повинні виконуватися спеціалістами у цій справі. Для цього існують компанії які допомагають іншим компаніям в установці та монтажі апаратів для виготовлення продукції. Організації з монтажних робіт повинні використовувати сучасне обладнання для монтажу частин підприємства а також дотримуватися сучасних технік безпеки при монтажі. Під час монтажу можуть працювати інші організації для забезпечення нормальної роботи інших частин підприємства.

Монтажні роботи, тобто, монтаж обладнання, трубопроводів, та інших конструкцій виконують на основі документації, певних норм та домовленостей підприємств.

Доставляння обладнання на монтажну область виконується монтажною організацією. Все обладнання повинно перевірятись перед монтажем на справність. Після перевірки монтажного обладнання виконуються випробування апарату або його частин, якщо все в порядку компанії переходять до домовленостей та складання приймально-здавального акту.

Первинна робота з монтажу може складатись з створення фундаменту для апарату якщо він відсутній, розстановки елементів опор та первинних складових установки. Далі складові одиниці переносяться на фундамент і приєднуються до нього за допомогою монтажного обладнання та опорних одиниць. Щоб під час

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		79

монтажу не виникло проблем, всі деталі апарату оглядаються на початку та монтаж починають виконувати одразу після домовленості. Монтаж відбувається відповідно вимог складального креслення апарату.

Фундаментна частина є однією з найважливіших частин монтажу. Вона повинна витримувати всю масу апарату з запасом, тому що апарат ще виготовляє продукцію у великих об'ємах. Фундамент повинен витримувати велику точкову та вібраційну навантаження з врахуванням роботи в повну продуктивність тривалий час. Для випарного апарату, доцільно буде використати фундамент виконаний з цегли, або бетону марки 75. Монтаж дозволяється при досягненні міцності бетону не менше 50% від проектного розрахунку. Від якості закріплення обладнання на фундаменті безпосередньо залежить його працездатність, перекося не допустимі, тому для більш точного монтажу використовують фундаментні болти.

Установка апарату виконується за допомогою опор які є складовими апарату та приймають на себе більшу частину ваги установки.

Випарний апарат із співвісною гріючою камерою та виносною циркуляційною трубою складається із трьох основних елементів: сепаратора – 1, гріючої камери – 2, циркуляційної труби – 3.

Проектом монтажно – складальних робіт передбачається наступна послідовність операцій складання:

Для експлуатації та періодичного обстеження обладнання в установці присутні елементи для доступу в середину апарату для відповідних для цього людей. Задля очищення та заміни внутрішніх елементів апарату в ньому присутні декілька люків щоб забезпечити доступ до максимального доступу внутрішньої частини апарату.

Гріюча камера являє собою кожухотрубний теплообмінний апарат з довжиною труб шість метрів. Вона складається з циліндричного корпусу з компенсатором, до якого з двох сторін приварені трубні решітки в яких розміщено трубний пучок. Знизу камера за допомогою фланцевого з'єднання

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
						80
Змн.	Адк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

приєднується днище, а зверху до сепаратор. Гріюча камера додатково встановлюється на чотири власні опори лапи.

Для підвищення природної циркуляції розчину, циркуляційна труба винесена на зовні. За допомогою фланцевого з'єднання труба кріпиться до колін, та з'єднує між собою сепаратор та гріючу камеру.

Також встановлюються площадки та сходишки для обслуговування і контрольно-вимірювальні прилади.

Герметизуються місця з'єднання кришок, фланців і т.д..

Після проводяться випробування апарата на герметичність, теплоізолюють його, випробовують та здають в експлуатацію.

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		81

7 Рівень стандартизації та уніфікації

Використання в апарату стандартних та уніфікованих деталей сприяє скороченню витрат, спрощує ремонт обладнання та зменшує час необхідний для обслуговування. Стандартні деталі є взаємозамінними, та не потребують спеціального обладнання для монтажу.

Стандартизованість та уніфікацію апарату можна дізнатись за допомогою підрахунку стандартизованих та уніфікованих деталей та використанням відповідних їм коефіцієнтів.

Рівень стандартизації та уніфікації визначає насичення виробу стандартизованими та уніфікованими деталями, та оцінюється відповідними коефіцієнтами.

Коефіцієнт стандартизації [19]:

$$K_c = \frac{n_c}{n_{заг}} = \frac{58}{68} = 0,853,$$

де n_c - кількість стандартних деталей, $n_c = 58$;

$n_{заг}$ - загальна кількість деталей, $n_{заг} = 68$.

Коефіцієнт уніфікації визначаємо із залежності [20] :

$$K_y = \frac{n_c + n_{ун}}{n_{заг}} = \frac{58 + 5}{68} = 0,926,$$

де $n_{ун}$ -кількість уніфікованих деталей, $n_{ун} = 5$.

Висновок: розраховано коефіцієнти стандартизації та уніфікації, які становлять: $K_c = 0,853$; $K_y = 0,926$.

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
						82
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		

8 Техніко-економічне обґрунтування модернізації

8.1 Техніко-економічне обґрунтування доцільності вдосконалення

Для виготовлення добрив часто в схемі виробництва використовуються випарні апарати для концентрації розчинів. Суть модернізації полягає у спрощенні конструкції вивантажувальної камери випарного апарату що дозволяє зменшити витрати електроенергії та використати силу тяжіння для вивантажування апарату в патенті [4].

Таблиця 8.1 – Техніко-економічні показники випарного апарата

Найменування показників	Одиниця виміру	Апарат до модернізації	Апарат після модернізації
2	3	4	5
Продуктивність	кг/с	13	15
Основний матеріал	—	12X18H10T	12X18H10T
Висота апарата	мм	15000	16000
Маса апарата	кг	16000	15000
Тривалість ремонтного циклу	Рік	2	2
Клас небезпечності за ГОСТ 12.1.007-76	—	До 2 кл.	До 2 кл.
Пожежонебезпека за ГОСТ 12.1.004-91	—	пожежонебезпечне	пожежонебезпечне
Категорія вибухонебезпечності за ГОСТ Р 513305-99	—	В	В
Коефіцієнт стандартизації і уніфікації	%	0,81; 0,93.	0,853; 0,926.

Продовження таблиці 8.1

Ринкова ціна нового аналогічного устаткування	тис. грн	600	550
Балансова (первісна) вартість устаткування	тис. грн	500	—
Залишкова вартість устаткування, яке підлягає модернізації	тис. грн	0	—

8.2 Розрахунки витрат на проведення проектно-конструкторських робіт по вдосконаленню випарного апарату

Модернізація устаткування означає покреслення його роботи за рахунок зміни якоїсь частини апарату задля зменшення енерговитрат, ціну, зусиль для монтажу і тп.

Економічно доцільно здійснювати модернізацію устаткування під час проведення капітального ремонту. Зазвичай модернізація устаткування хімічної, нафтопереробної галузей промисловості збільшує продуктивність на 10-18%, а понесені згідно з нею витрати не перевищують половини вартості знарядь виробництва аналогічного призначення.

Сукупні витрати M_i на проведення модернізації устаткування розраховуються за формулою [21, с.8]:

$$M_i = \Phi_{\text{перв}}^{\text{мод}} \cdot K_i = 500 \cdot 0,06 = 30 \text{ тис.грн.}$$

де $\Phi_{\text{перв}}^{\text{мод}} = 500$ 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 [21, таблиця 2].

Модернізований апарат зазвичай вимагає підвищенні витрати на початку з врахуванням випробувань, та модернізації. Далі модернізація передбачає зменшення витрат на повторне виготовлення.

Експлуатаційні (поточні) витрати при роботі устаткування визначаються за формулою [21, с. 9]:

$$S_{ei} = q_{bi} \cdot \Phi_{перв}^{мод} - q_{bH} \cdot \Phi_{перв}^{мод} = 0,12 \cdot 500 - 0,1 \cdot 500 = 10 \text{ тис. грн.}$$

де $q_{bi} = 0,12$ – коефіцієнт експлуатаційних (поточних) витрат устаткування, яке підлягає модернізації [17, таблиця 3];

$q_{bH} = 0,10$ – коефіцієнт експлуатаційних (поточних) витрат аналогічного нового устаткування [21, таблиця 3];

$\Phi_{перв}^{мод} = 500$ тис. грн – первісна вартість нового (аналогічного) устаткування.

Коефіцієнт співвідношення продуктивності модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування α розраховується по формулі [21, с. 12]:

$$\alpha = \frac{P_i}{P_{нов}} = \frac{13}{15} = 0,867,$$

де $P_i = 13$ кг/с – продуктивність устаткування, яке підлягає модернізації;

$P_{нов} = 15$ кг/с – продуктивність нового аналогічного устаткування.

Коефіцієнт співвідношення тривалості ремонтного циклу модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування приймаємо [21, с. 12]:

$$\beta = 0,95.$$

Розрахунки ефективності на проведення модернізації устаткування полягають у визначення коефіцієнта ефективності витрат n_{pi} , який розраховується за формулою [21, с. 7].

$$n_{pi} = 1 - \frac{M_i + S_{ei}}{K_{Hi} \alpha \beta + S_{ai}} = 1 - \frac{30 + 10}{500 \cdot 0,8 \cdot 0,95 + 0} = 0,895,$$

де M_i – сукупні витрати на проведення модернізації устаткування, $M_i = 30$ тис. грн.;

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		85

S_{ei} – перевищення експлуатаційних витрат модернізованого устаткування порівняно з новим аналогічним устаткуванням, $S_{ei}=10$ тис.грн.;

K_{Hi} – оптова ціна придбання нового аналогічного устаткування, $K_{Hi} = 640$ тис. грн;

α – коефіцієнт співвідношення продуктивності модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування, $\alpha=0,8$;

β – коефіцієнт співвідношення тривалості ремонтного циклу модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування, $\beta=0,95$;

S_{ai} – втрати від недоамортизації устаткування, яке підлягає модернізації, $S_{ai}=0$.

Додатне значення коефіцієнта ефективності витрат свідчить про те, що модернізація з економічної точки зору є доцільною.

Висновки: У цьому розділі було виконано розрахунок по техніко-економічному обґрунтуванню доцільності модернізації вивантажувальної камери у випарному апараті при виготовленні добрив або для любых випарних апаратів з густою продукцією. Було отримано додатній коефіцієнт ефективності витрат, а саме $n_{pi} = 0,895$. Це дає змогу стверджувати, що модернізація з економічної точки зору є доцільною, тобто веде за собою підвищення ряду визначальних характеристичних показників випарного апарата. В додаток до цього енергетичні витрати при використанні випарної установки з указаною модернізацією зменшуються.

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		86

Висновки

У дипломному проекті освітньо–кваліфікаційного рівня «Бакалавр» на тему «Модернізація установки виробництва амофосу з розробкою випарного апарата» розроблено випарний апарат зі співвісною гріючою камерою та виносною циркуляційною трубою, природною циркуляцією продуктивністю 15кг/сек по випареній волозі з амофосної суспензії від початкової концентрації 8% до кінцевої 45%.

Модернізація полягає у тому, щоб покращити конструкцію вивантажувальної камери випарного апарату замінивши ручне вивантажування на вивантажування з використанням сили тяжіння та одного вентиля щоб запобігти застою.

В проекті було детально описано схему виробництва амофоса з використанням випарної установки, був описаний випарний апарат який був розрахований та накреслений. Було обгрунтовано чому використовується саме випарний апарат обраного типу. Були проведені розрахунки на міцність. Описано деталі монтажу та охорони праці.

Проведені розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій вибраного апарата, а саме: параметричний, розрахунки на міцність основних вузлів та деталей апарата (перевірка товщини стінки обичайки під дією внутрішнього та зовнішнього тисків, конічного та еліптичного днищ під дією внутрішнього тиску, розрахунок фланцевого з'єднання, опор і теплової ізоляції).

Розроблено рекомендації щодо монтажу та експлуатації, визначено рівень стандартизації та уніфікації, здійснено техніко-економічне обгрунтування модернізації.

Результати зроблених розрахунків і звіт про здійснену роботу зведені в пояснювальну записку.

Всі розрахунки були розраховувалися з використанням Mathcad та були оформленні відповідно до вимог для бакалаврського проекту. За період виконання

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		87

проекту опубліковано було опубліковано дві тези у всеукраїнських науково-практичних конференції студентів, аспірантів і молодих вчених у 31 та 32 виданні.

Графічна частина проекту виконана у середовищі Autodesk Inventor Professional 2023, та включає в себе три креслення: складальне креслення випарного апарату формату А0, креслення сепаратору формату А1, технологічну схему процесу А1, складовою частиною якої є проєктований апарат. До складальних креслень складені специфікації.

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		88

Conclusions

In the diploma project of the educational and qualification level "Bachelor" on the topic "Modernization of the amophos production installation with the development of an evaporation apparatus" an evaporation apparatus with a coaxial heating chamber and an external circulation pipe, natural circulation with a productivity of 15 kg/sec on evaporated moisture from amophos suspension from an initial concentration of 8% was developed to the final 45%.

The upgrade consists of improving the design of the evaporator discharge chamber by replacing manual discharge with gravity discharge and a single valve to prevent stagnation.

In the project, the scheme for the production of amophos using an evaporation plant was described in detail, the evaporation apparatus was described, which was calculated and drawn. It was justified why the evaporator of the selected type is used. Strength calculations were carried out. Details of installation and labor protection are described.

Calculations were made that confirm the operability and reliability of the structures of the selected device, namely: parametric, calculations on the strength of the main nodes and parts of the device (checking the wall thickness of the casing under the action of internal and external pressure, conical and elliptical bottoms under the action of internal pressure, calculation of the flange connection, supports and thermal insulation).

Recommendations for installation and operation were developed, the level of standardization and unification was determined, and a technical and economic justification of modernization was carried out.

The results of the calculations and the report on the work performed are summarized in an explanatory note.

All calculations were calculated using Mathcad and were designed in accordance with the requirements for a bachelor's project. During the project implementation

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
ЗМН.	Адк.	№ доквм.	Підпис	Дат		89

period, two theses were published in the 31st and 32nd editions of all-Ukrainian scientific and practical conferences of students, postgraduates and young scientists.

The graphic part of the project is made in the Autodesk Inventor Professional 2023 environment, and includes three drawings: the assembly drawing of the evaporation apparatus in A0 format, the drawing of the separator in A1 format, the technological scheme of the A1 process, the component part of which is the designed apparatus. The specifications are attached to the assembly drawings.

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ доквм.	Підпис	Дат		90

Перелік посилань

1. Иоффе И. Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии: Учебник для техникумов. — Л.: Химия, 1991. — 352 с., ил.
2. Основи технології комплексних добрив А.В.Кононов,В.Н.Стерлин 1988 307с.
3. Патент № CN217041328U Китай, МПК(2006.01) B01D1/30, заявлено 25.04.2022, опубл. 26.07.2022
4. Патент № CN217794545U Китай, МПК(2006.01) B01D1/30, заявлено 10.07.2012, опубл. 15.11.2012
5. Патент № CN216824840U Китай, МПК(2006.01) B01D1/00, заявлено 01.12.2021, опубл. 28.06.2022
6. Патент № CN216604079U Китай, МПК(2006.01) B01D1/26, заявлено 31.12.2021, опубл. 27.54.2022
7. Патент № CN214763352U Китай, МПК(2006.01) B01D1/22, B01D1/30, заявлено 07.05.2021, опубл. 19.11.2021
8. Державна служба україни з питань праці лист10.05.2016 N 5225/2/4.4-ДП-16
9. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессы и аппараты химической технологии. 10-е изд., перераб. и доп. - Ленинград: Химия. 1987.- 576 с.
10. Справочник химика. Том 2: Основные свойства неорганических и органических соединений. Л.: Химия, 1963. – 1168с
11. Дытнерский Ю.фИ. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: 1991. - 496с.
12. Машины и аппараты химических производств. Под ред. И.И. Чернобыльского Изд. 3-е, перераб. и доп. – М: «Машиностроение», 1975. – 454 с.
13. ГОСТ 14249 - 89: Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
						91
Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

прочність.

14. Андреев І.А. Конструювання і розрахунок типового устаткування хімічних виробництв. Основні положення. Елементи тонкостінних посудин, навантажених внутрішнім тиском: навч. посіб./ — К: НТУУ «КПІ», 2011. — 272 с. — 300 пр.
15. В.Г. Доброногов, І.О. Мікульонок . «Конструювання та розрахунок фланцевого з'єднання»: Навч. посібник /. — К.НМК ВО, 1992 — 104 с.
16. В.Г. Доброногов, І.О. Мікульонок . «Конструювання опорних вузлів хімічних апаратів і перевірка несучої спроможності обичайок на дію опорних навантажень»: Навч. посібник. — К.:ІСДО, 1995 — 184 с.
17. Мікульонок І.О. Проектування теплової ізоляції обладнання хімічних виробництв Навч посібник — К НАУК ДУМКА, 1999 — 152с.
18. Мікульонок І.О. Виготовлення монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв— Київ НТУУ «КПІ», 2012 — 442с.
19. Лацинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1981. — 382 с., ил.
20. Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. -М:Химия 1982. — 848 с.
21. А. М. Задольський. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломних проектів бакалаврів (для студентів інженерно — хімічного факультету). Київ, 2010 р. — 27 с.
22. В.Г. Доброногов, І.О. Мікульонок . «Конструювання опорних вузлів хімічних апаратів і перевірка несучої спроможності обичайок на дію опорних навантажень»: Навч. посібник. — К.:ІСДО, 1995 — 184 с.

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		92

Додаток А

Документація до патентного дослідження

РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ № ЛН91.10РП

Найменування теми Випарний апарат шифр теми ЛН91.065342.001

Етап Проектування випарного апарату та його складових частин

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень

ЛН91.10, 24.04.2023

Обґрунтування регламенту пошуку:

Предмет пошуку – 1) випарний апарат (Об'єктом пошуку є винаходи й корисні моделі).

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

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

Ретроспективність. Термін дії патенту на винахід в Україні – 20 років, проте регламент пошуку встановлюємо такий: 2022–2023 р.р.

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

Уніфікована десяткова класифікація УДК 66.045

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

Початок пошуку 17.04.2023

Закінчення пошуку 30.04.2023

					ЛН91.065342.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		93

РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ № ЛН91.10ДП

Завдання на проведення патентних досліджень ЛН91.000010.000 24.04.2023Етап Проектування апарата та його складових частинНомер, дата регламентного пошуку ЛН91.10.РП 24.04.2023Початок пошуку 24.04.2023 Закінчення пошуку 30.04.2023

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

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Мета пошуку інформації	Держав а пошуку	Класифікаційні індекси МПК, УДК	Ретроспективні іть пошуку	Джерела інформації
Випарний апарат	Визначення патентно-здатності та патентної чистоти проєктованого апарата й тенденції розвитку цього напрямку в техніці.	Україна, США, Велика Британія, Німеччина, Франція, Японія.	МПК; B01D 1/06, 1/26; 1/30, 1/22, 1/00, УДК 665.612.2	2022-2023	Національні і зарубіжні офіційні бюлетені. Описи винаходів і корисних моделей.

Таблиця А.2 – Джерела інформації, використання під час проведення пошуку

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Держава пошуку	Класифікаційні індекси	Інформаційна база, використана під час пошуку	Бібліографічні данні першого та останнього джерела інформації	
				Патентна інформація	Інша науково-технічна інформація
Випарний апарат	Україна, США, Велика Британія, Китай	МПК; B01D 1/06, 1/26; 1/30, 1/22, 1/00, УДК 665.612.2	http://ep.espacenet.com/ , http://www.ipo.org , http://uapate.nts.com .	Описи та винаходи патентів України Описи корисних моделей патентів України	Технология фосфорных и комплексных Н. И. Воробьев., 2015. – 177 с. Основи технології комплексних добрив А.В.Кононов, В.Н.Стерлин 1988 307с.

Таблиця А.3 Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	Бібліографічні дані	Відомості щодо їхньої дії
1	2	3
Випарний апарат	Патент № 217041328U (CN) Ванг Юнджи, Ян Мінгу. Корисна модель відноситься до технічного поля випарників, зокрема до концентруючого випарника.	Діє
Випарний апарат	Патент № 217794545U (CN) Лі Йонгвей, Лі Жервей, Жанг Лін. Автоматичний концентраційний випарник	Діє
Випарний апарат	Патент № 216824840U (CN) Хі Янзен, Ліан Юфу, Лі Хіан, Лі Хіарон. Пристрій швидкої концентрації	Діє
Випарний апарат	Патент № 216604079U (CN) Ванг Зіпен, Ху Жінон, Лі Джіан, Чен Зензі, Пристрій концентрації мезони.	Діє
Випарний апарат	Патент № 214763352U (CN) Ян Лівей, Жан Ліюфен, Ян Баолін, Ян Сулай, Ву Хан Текстильне допоміжне концентраційне обладнання	Діє

Таблиця А.4 – Інша науково технічна документація, відібрана для подальшого аналізу.

ОГД, його складові частини	Джерела інформації	Бібліографічні дані
Випарний апарат	Литвиненко М.В. Стан і перспективи виробництва мінеральних добрив в Україні	Місце видання: Україна Видавництво: Вісник аграрної науки 2018
Випарний апарат	Тимошенко І.В., Яремко Ю.М., Поплавська О.Ю. та ін. Розробка технології виробництва амофосу з використанням іонітових мембранних технологій // Хімічна промисловість України. – 2016. – №6. – С. 28-33.	Місце видання: Україна Видавництво: Хімічна промисловість України. – 2016.
Випарний апарат	Корнієнко Я.М. Процеси та обладнання хімічної технології: Підручник / Я.М.Корнієнко	К.: НТУУ «КПІ», 2011.- Ч.2.-416с.

Висновок:

За результатами проведеного патентного пошуку встановлено:

Пропонований апарат і його складові частини відповідають умовам патентної чистоти винаходу (корисної моделі) через те що усі суттєві ознаки найближчих аналогів не використано в проектних апаратах.

Додаток Б

Комп'ютерний розрахунок елемента випарного апарату

Додаток Б. Програма розрахунку товщини стінки гріючої камери випарного апарату.

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

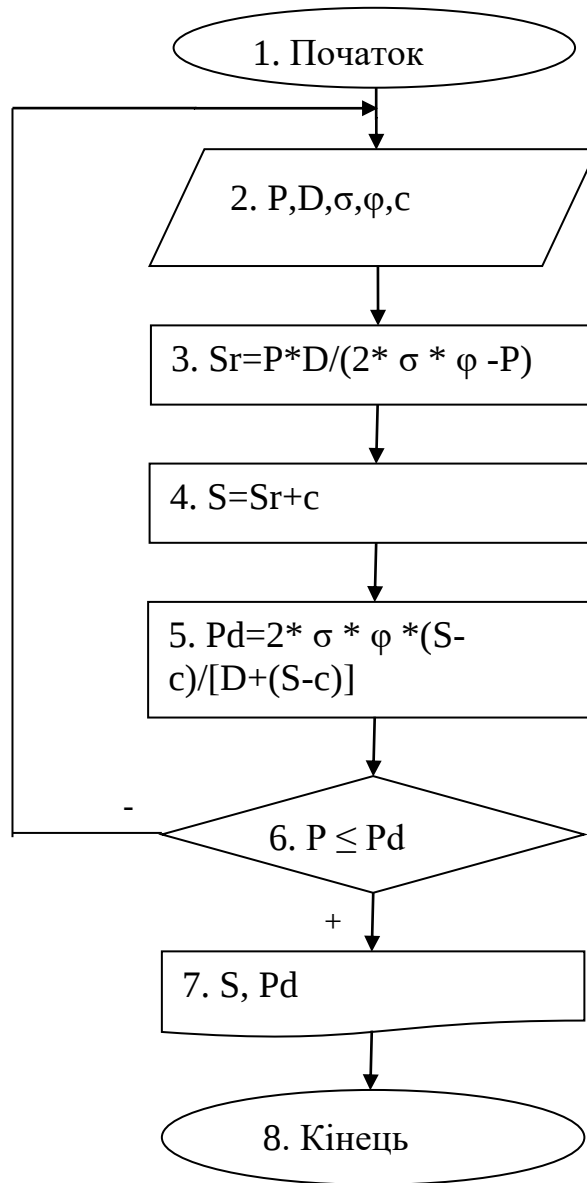


Рисунок Б.1 – Блок – схема розрахунку товщини стінки теплообмінника під дією внутрішнього надлишкового тиску

Таблиця Б.2 – Таблиця ідентифікаторів

Найменування	Ідентифікатор	Розмірність
Розрахунковий тиск	P_p	МПа
Внутрішній діаметр	D	м
Допустиме напруження	$d\sigma$	МПа
Прибавка на корозію	C	м
Технологічна прибавка	C_1	м
Розрахункова товщина	S_r	м
Прийнята товщина	S	м
Допустимий тиск	$d p$	МПа
Коефіцієнт зварного шва	φ	-
Висота еліптичної частини	H	м
Швидкість корозії	V_k	мм/рік

$$D_z := 1.2$$

$$p := 0.7$$

$$t := 165$$

допустиме напруження для сталі 12Х18Н10Т при температурі 165

$$d\sigma := 168 + \frac{160 - 168}{50} \cdot (165 - 150) = 165.6$$

$$\varphi_r := 0.9$$

Розрахункова товщина стінки циліндричної обичайки

$$S_R := \frac{p \cdot D_z}{2 \cdot d\sigma \cdot \varphi_r - p} = 2.825 \times 10^{-3}$$

$$c_1 := 4 \cdot 10^{-3}$$

$$S := S_R + c_1 = 6.825 \times 10^{-3}$$

$$c_2 := 0.5 \cdot 10^{-3}$$

$$c_2 := 0 \quad c := c_1 + c_2 + c_3 = 4.5 \times 10^{-3}$$

$$S := S_R + c = 7.325 \times 10^{-3}$$

$$S := 8 \cdot 10^{-3}$$

$$dp := \frac{2 \cdot d\sigma \cdot \varphi_r \cdot (S - c)}{D_z + S - c} = 0.867$$

$$p < dp = 1$$

умова міцності виконується

Додаток В

Патенти, які використані в патентному дослідженні



(21) 申请号 202220970125.7

(22) 申请日 2022.04.25

(73) 专利权人 浙江立宇设备成套有限公司

地址 323000 浙江省丽水市青田县温溪镇
港头村港寺路8号

(72) 发明人 王应之 杨鸣宇

(74) 专利代理机构 温州名创知识产权代理有限公司 33258

专利代理师 陈加利

(51) Int. Cl.

B01D 1/00 (2006.01)

B01D 1/30 (2006.01)

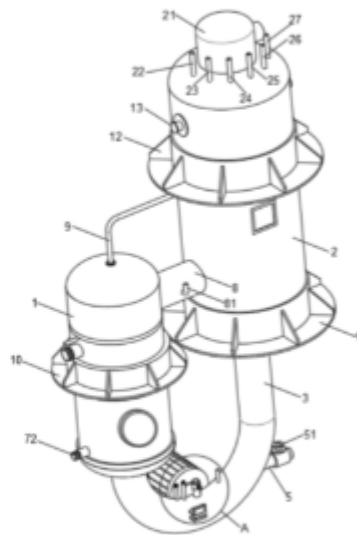
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 实用新型名称

浓缩蒸发器

(57) 摘要

本实用新型公开了蒸发器技术领域的浓缩蒸发器,包括加热室,加热室右端设置有分离室,加热室下端底部设置有下循环管,下循环管弯折处前端设置有浓度检测器,下循环管弯折处上端设置有料液出口,料液出口上设置有出料阀,料液出口左端设置有下循环管密度上管口,下循环管密度上管口右端设置有下循环管密度下管口,料液出口右端设置有下循环管温度管口,下循环管弯折处右端设置有料液入口,通过浓度检测器检测下循环管内的原料浓度,当浓度不达标时,启动抽泵,使原液在加热室、下循环管、分离室和上循环管形成的循环系统内充分加热蒸发,可多次循环,无需多个加热室,提高了其浓缩效果,当浓度达标后,打开出料阀将其导出,提高了其功能性。



CN 217041328 U

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

ЛН91.065342.001 ПЗ

Арк.

9



(21) 申请号 202221922825.5

(22) 申请日 2022.07.25

(73) 专利权人 科茂智能装备(南京)有限公司

地址 210000 江苏省南京市高淳经济开发区古檀大道3号A9幢510室

(72) 发明人 李永伟 李振伟 张林

(51) Int. Cl.

B01D 1/00 (2006.01)

B01D 1/30 (2006.01)

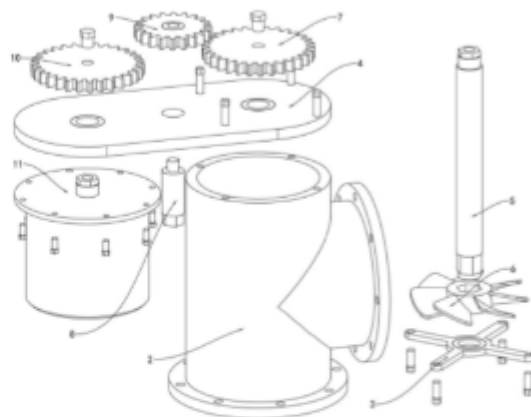
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54) 实用新型名称

自动浓缩蒸发器

(57) 摘要

本实用新型提供自动浓缩蒸发器,涉及蒸发器技术领域,包括装置本体;所述装置本体设置有上下方向的蒸汽排出筒,蒸汽排出筒顶部端面环形阵列开设有四处螺纹盲孔,蒸汽排出筒底部外部圆周设置有带安装孔的环形板,蒸汽排出筒底部端面开设有带螺纹盲孔的环形槽,蒸汽排出筒右侧设置有带法兰环板的对接筒,蒸汽排出筒的设置,方便转轴承载架和封闭承载板通过螺栓安装,方便风扇承载轴通过轴承安装在转轴承载架和封闭承载板之间进行转动,方便蒸汽排出扇套装在风扇承载轴上通过蒸汽带动转动加速排气,解决了蒸发器没有辅助排气措施容易在蒸发室内壁形成水珠回落,不方便通过蒸汽带动排出扇自动转动加速蒸汽排出蒸发室的问题。





(21) 申请号 202123165330.0

(22) 申请日 2021.12.16

(73) 专利权人 广西萌大夫生物技术有限公司

地址 537000 广西壮族自治区贵港市平南
县上渡街道平南县工业园入园南一路
广西达庆生物科技有限公司科研楼3
楼303室

(72) 发明人 谢永政 梁奕福 李翔 黎小容
李胜春 梁春红 黎莹 吴锋
李加达

(74) 专利代理机构 东莞科强知识产权代理事务
所(普通合伙) 44450

专利代理师 李英华

(51) Int.Cl.

B01D 1/06 (2006.01)

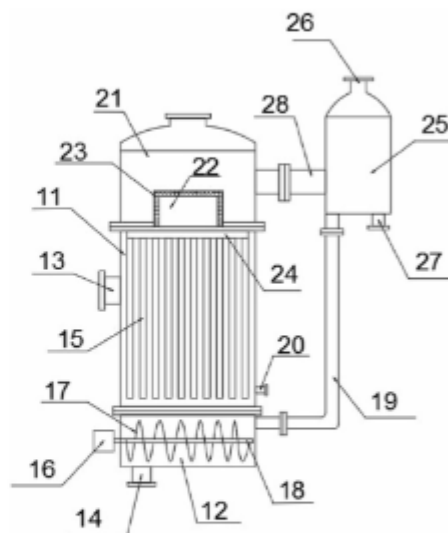
权利要求书1页 说明书3页 附图2页

(54) 实用新型名称

一种快速浓缩装置

(57) 摘要

本实用新型公开了一种快速浓缩装置,包括蒸发器中间部,所述蒸发器中间部上方设置有蒸发器上部,所述蒸发器上部侧面设置有输送管,本实用新型设置有旋转叶,物料通过物料进口被输送至蒸发器底部内,然后会经旋转叶搅拌输送至蒸发器中间部内部进行加热处理,旋转轴能够使物料被均匀的输送至蒸发器中间部内部,避免在加热管端面处造成堆积;本新型还设置有固定底板和截面直径尺寸不相同的加热管,加热管能够在固定底板和电机B的带动下转动,对进入蒸发器中间部内部的物料进行加热的同时还能够进行搅拌,避免了料液吸附黏连在加热管表面后变的干涸、焦化,造成料液受热不均匀,同时也能够使蒸汽与料液之间的接触更加充分。





(21) 申请号 202123437836.2

(22) 申请日 2021.12.31

(73) 专利权人 凭祥生和堂健康食品有限公司

地址 532699 广西壮族自治区崇左市凭祥
市边镜经济合作区友谊关工业园内坚
果系列标准厂房69亩地块D1#厂房

(72) 发明人 王志鹏 胡建红 李坚 陈增自

(74) 专利代理机构 广西中知国华知识产权代理
有限公司 45131

专利代理师 宋业萍

(51) Int.Cl.

B01D 1/26 (2006.01)

B01D 1/30 (2006.01)

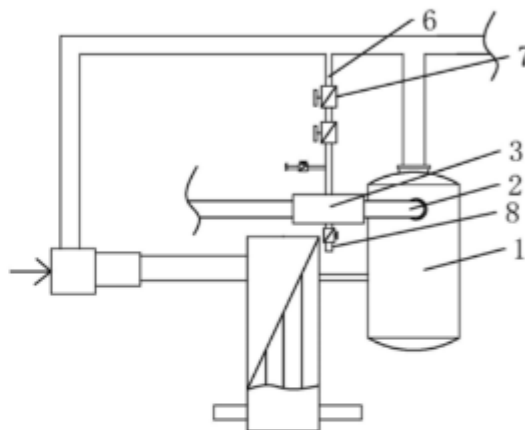
权利要求书1页 说明书3页 附图2页

(54) 实用新型名称

一种仙草浓缩装置

(57) 摘要

本实用新型公开了一种仙草浓缩装置,涉及浓缩装置技术领域,其技术方案要点是:其包括有三效蒸发器以及设置在所述三效蒸发器前端的预热结构,所述三效蒸发器通过进料管连接提取液储存罐,所述预热结构连接在所述进料管的外周侧,所述预热结构与所述进料管外管壁之间形成蒸汽室,所述进料管的管壁上开设有多个蒸汽孔,所述蒸汽孔连通所述蒸汽室与所述进料管内部,所述预热结构与所述三效蒸发器的蒸汽发生器接通,用以为蒸汽室通入蒸汽。本实用新型能够利于提取液进入蒸发器之后更好的适应蒸发器内的高温环境,减少能量损耗,充分利用了蒸汽能源,提高浓缩装置的工作效率。





(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 214763352 U

(45) 授权公告日 2021.11.19

(21) 申请号 202120958352.3

(22) 申请日 2021.05.07

(73) 专利权人 绍兴柯桥欧利助剂有限公司

地址 312000 浙江省绍兴市柯桥区滨海工
业区新二路

(72) 发明人 严丽卫 张辽丰 严宝林 严速来
吴罕

(51) Int. Cl.

B01D 1/22 (2006.01)

B01D 1/30 (2006.01)

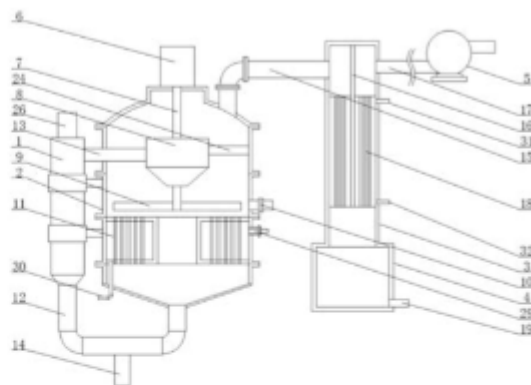
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 实用新型名称

一种纺织助剂浓缩设备

(57) 摘要

本实用新型公开了一种纺织助剂浓缩设备，包括螺旋提升器、蒸发器、冷凝装置、储水罐、真空泵，蒸发器顶端固定连接第一驱动电机，第一驱动电机下端固定连接第一驱动杆，第一驱动杆设置在蒸发器内，第一驱动杆贯穿研磨装置后固定连接搅拌杆，搅拌杆下方的蒸发器内固定安装有加热器，蒸发器下端固定连接排料管，排料管另一端与螺旋提升器的底部相连接，螺旋提升器上端外侧壁固定连接回流管，且回流管另一端与研磨装置相连接，蒸发器上端通过蒸汽管与冷凝装置相连接，冷凝装置另一侧通过真空管连接有真空泵，冷凝装置下端固定连接储水罐。本实用新型提供一种操作简单、工作难度低、资源损耗低，能够提高产品质量的纺织助剂浓缩设备。





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



UDC 662.73

HEAT EXCHANGER FOR BIOGAS COOLING in TECHNOLOGICAL SCHEME OF BIOGAS CLEANING PROCESS

Student Futman A. V., Senior lecturer, Ph.D. Haidai S. S., associate professor,
Ph.D. Hulienko S. V.

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

ANNOTATION: *The production of amorphous, its composition and production by evaporation of a neutralized suspension in a multi-body vacuum- evaporation unit are considered. Technological production of amorphous and its description are also given.*

KEY WORDS: *AMPHOS, PHOSPHORUS, FERTILIZER, EVAPORATION INSTALLATION.*

ТЕПЛООБМІННИК ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ БІОГАЗУ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ БІОГАЗУ

Студент Фурман А.В., старший викладач, к.т.н. Гайдай С. С., доц. к.т.н.
Гулієнко С. В.

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

АНОТАЦІЯ: *Розглянуто виробництво аморфосу, його склад та отримання шляхом утрати нейтралізованої суспензії в багатотілісній вакуум-випарній установці. Також наведено технологічну виготовлення аморфосу та її опис.*

“ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ І ПІДПРИЄМСТВ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ”

5-7 грудня
Київ 2022

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АМОФOS, ФОСФОР, ДОБРИВО, ВИПАЛКА УСТАНОВКА.

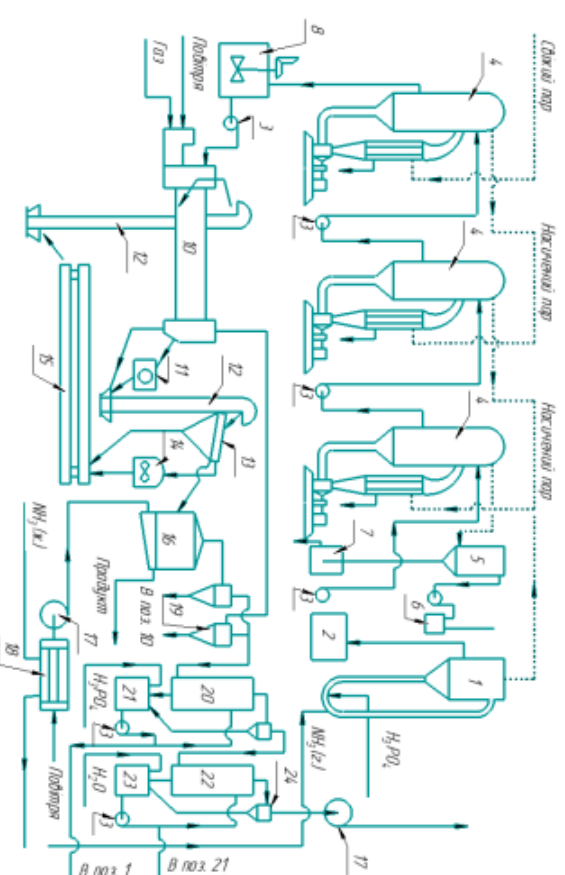
During the lifecycle in agricultural conditions, in ground the sources which the plants can used for growing are expired. In this regard the necessity of adding of the fertilizers in ground appears. For the satisfying grow of plants and good harvest the ammophos is suitable. This material can be obtained by the technique of ammophos production with evaporation of ammophos pulp and the granulation in the BGS apparatus [1, 2].

Ammophos is the nitrogen and phosphoric fertilizer, which consists mainly of monoammoniumphosphate with impurities of biammoniumphosphate (10-20%), ammonium sulfate, iron phosphate, aluminium phosphate etc. By the content of the active compounds the amophos is one of the most concentrated. Ammophos can be added as main fertilizer in the rows during the sowing of the all cultures and for the top dressing for technical cultures and vegetables [3].

The phosphor plays key role in lifecycle of the fruit and berry crops. It is a part of the complex proteins which take part in the process of the cell nucleus division and forming of the new organs of the plant, ripening of the fruits and berries, promotes the accumulation of the starch, sugars and lipides. Phosphor significantly increases the drought and cold resistance of plants. It plays significant role in ripening of fruits [2].

In the ammophos, which is produced by to types "A" and "B", there are 9-11% of N and 42-50% of P_2O_5 , therefore the ratio N to P_2O_5 in the fertilizer is excessively wide and equal to 1:4 (the content of nitrogen if four time lower than content of phosphor). This is concentrated fertilizer, which consists the nitrogen and phosphor in form which is well absorbed by plants. The 100 kg of ammophos can replace 250 kg of superphosphate and 35 kg of the ammonium salitre nitrate [2].

On the scheme (figure 1) it can be seen the process of the ammophos production with intermediate evaporation of the neutralized suspension in multiple-effect vacuum evaporation plant [1].



- 1 – CAL apparatus; 2 – tank; 3 – centrifugal pump; 4 – evaporators;
5 – barometric condenser; 6 – vacuum pump; 7 – barometric tank; 8 – tank of the evaporated sludge; 9 – furnace; 10 – BGS apparatus; 11 – hammer mill crusher; 12 – elevator; 13 – mechanical screening machine; 14 – roll crusher;
15 – vibratory conveyor; 16 – chiller KC; 17 – fan; 18 – evaporator of the liquid ammonia (air chiller); 19 – cyclone separators; 20 – acidic gas washer;
21, 23 – circulating tanks; 22 – gas washer; 23 – drop separator

Figure 1 – The technological scheme of the ammophos production

The phosphoric acid (20-29% of P_2O_5) is neutralized by the gas ammonium to the pH = 5-5.5 in the CAL apparatuses (the residence time is 2-3 minutes). The water vapor, which stand out in this process, is taken away in heat exchanger,

where it condensed heating the feed acid. The amorphous suspension ($\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{PO}_4$ = 1:1) is concentrated in the three-stage evaporation plant to the final humidity of the 18-25%. The first stage is operated under vacuum, the second stage is operated under atmospheric pressure, and third stage is operated at elevated pressure. The feed steam (0.3-0.6 MPa) is pumped into third stage, first and second stages are heated by the secondary steam. Then the suspension with temperature 112-115°C is dried and simultaneously granulated in the BGS apparatuses [1].

After product cooling and sieving on the mechanical screening machine the small fraction with dimensions of particles less than 1 mm is returned in BGS apparatus as external retut. The general amount of retut (small fraction and some part of the standard product) is less that 1-2. The big fraction is followed to the crushing and standard is cooled to the 40-45°C and send to the warehouse [1].

In the amorphous production scheme the evaporator has a significant role. Therefore, it is reasonable to modernize this apparatus

References:

1. Технологія фосфорних и комплексных Н. И. Воробьев., 2015. – 177 с.
2. Попов Н.П. Випарні апарати у виробництві мінеральних добрив. Д.: Хімія, 1974. 128 с.
3. Позин М. Е. Технологія мінеральних добрив. – Д.: Хімія, 1989. – 352 с.



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



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

"ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ І ПІДПРИЄМСТВ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ"

3 травня

Київ 2023

UDC 662.73

МОДЕРНІЗАЦІЯ ВИПАРНОГО АПАРАТУ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА АМОФОСУ

Студент Фурман А.В., к.т.н., доцент Гулієнко С.В., асистент Подман Г.С

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігора Сікорського»

АНОТАЦІЯ: Розглянуто виробництво амофосу, використання випарного апарату у виробництві, його роль. Запропонована модернізація патента випарного апарату для збільшення ефективності використання випарного апарату.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АМОФОС, ВИПАРНИЙ, АПАРАТ, МОДЕРНІЗАЦІЯ.

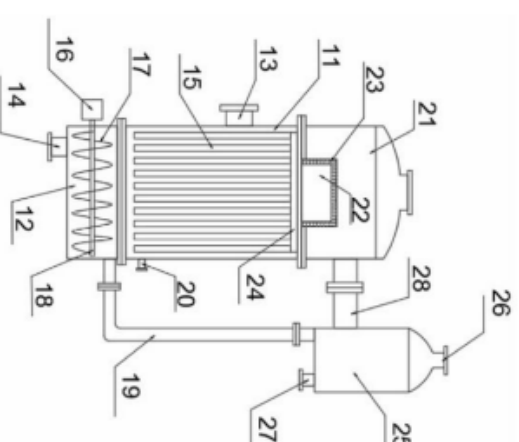
Амофос - це мінеральне добриво, яке містить фосфор і азот, і використовується для підживлення рослин. Він допомагає підвищити врожайність, покращити якість плодів та зменшити витрати на добрива.[1]

Для виробництва амофосу використовують фосфоритні сировини, які піддають фізико-хімічній обробці. Сировину змішують з кислотою або лужною речовиною, щоб утворити фосфатну сіль. Потім отриману сіль обробляють амонієм, що дає амоній фосфат - основну складову амофосу.

Випарний апарат грає важливу роль в процесі виробництва амофосу. Він використовується для виділення зайвої води з рідинного фосфату, що дозволяє концентрувати його і збільшувати продуктивність виробництва. У випарному апараті розчин фосфатної солі нагрівається та випаровується, а потім конденсується, щоб знову стати рідиною. Процес випаровування відбувається за допомогою високотемпературного пару, що утворюється в котлі. Після випаровування вода з випаровувальної камери відводиться, а

фосфатна сіль залишається в апараті і далі використовується для виготовлення амофосу.

Випарний апарат займає важливу роль в схемі з виробництва амофосу. Так як він займає велику площу за потребує багато ресурсів для роботи його потрібно модернізувати та покращити роботу всієї схеми виробництва амофосу.



11 — середня частина випарника; 12 — нижня частина випарника; 13 — отвір для введення пари; 14, вхідний отвір для матеріалу; 15 труба опалення; 16, двигун А; 17 — люк, що обертається; 18 — обертовий вал; 19 - завертота труба; 20 - вихід конденсату; 21 — верхня частина випарника; 22, двигун В; 23 — теплоізоляційний шар; 24, фіксована нижня пластина; 25 — сепаратор; 26 вихід вторинної пари; 27 вихід концентрату; 28, транспортна труба.

Рисунок 1 – Схема випарного апарата, запропонованого в роботі [3]

Так як випарний апарат має велике значення для виготовлення амофосу тому обравши патент була запропонована модернізація установки випарного апарату для покращення всього процесу.[2]

Обертювальний вал дозволяє рівномірно транспортувати матеріали в середню частину випарника, щоб уникнути накопичення матеріалів на торцевій поверхні нагрівальної труби.

Недоліком даної конструкції є те що не задіяна сила тяжіння що є не енергоефективним методом вивантаження упареного розчину. Також одним з недоліків є присутність зон де все одно залишаються застійні зони

Для усунення недоліків запропонована нова конструкція показана на рисунку 2.

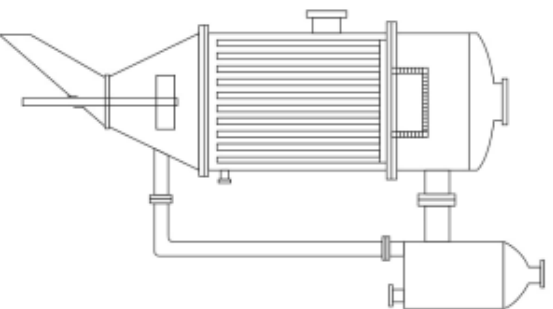


Рисунок 2 – Схема запропонованої модернізації

Перевагою даної модернізації є те що нова конструкція дозволяє зберігати переваги прототипу і усунути застійні зони, також пришвидшити

вивантаження за рахунок рушійної сили та зменшити затрати енергії використовуючи силу тяжіння.

Список літератури

1. Попов Н.П. Випарні апарати у виробництві мінеральних добрив. Л.: Хімія, 1974. 128 с.
2. Фурман А.В. Теплообмінник для охолодження біогазу технологічної схеми процесу очищення біогазу / Фурман А.В., Гайдай С. С., Гулієнко С. В. // Збірник тез доповідей ХХХІ всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Обладнання хімічних виробництв підприємств будівельних матеріалів" 5-7 грудня 2022 Р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2022. – 59-62
3. Патент № CN216824840U. Китай. Швидкісний концентраційний пристрій. МПК B01D1/06. Опубл. 28. 06.2022.