

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

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри МАХНВ

_____ Ярослав КОРНІЄНКО

(підпис)

“ _ ” _____ 2023 р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ

на здобуття ступеня бакалавра

Напрямок підготовки: 13 – Машинобудування

Спеціальність: 133 – Галузеве машинобудування

Програма професійного спрямування: Інжиніринг, комп’ютерне моделювання та проектування обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв

Спеціалізація: Інжиніринг, комп’ютерне моделювання та проектування обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв

на тему: Модернізація установки розкладання фосфатної сировини з розробкою випарного апарата

Виконав студент IV курсу, групи ЛН-91

Олександр НЕСТЕРУК

Керівник проекту

старший викладач Роман САЧОК

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

(підпис)

Консультанти:

з охорони праці

канд. техн. наук, доцент Андрій КОВТУН

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

(підпис)

з економіки

старший викладач Роман САЧОК

(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 _____ Олександр НЕСТЕРУК

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

Напрямок підготовки: 13 – Машинобудування

Спеціальність: 133 – Галузеве машинобудування

Спеціалізація: Інжиніринг, комп’ютерне моделювання та проектування обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАХНВ

_____ Ярослав КОРНІЄНКО
(підпис)
“ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Нестеруку Олександр Михайловичу

1. **Тема проекту:** Модернізація установки розкладання фосфатної сировини з розробкою випарного апарата.

Керівник проекту старший викладач Роман САЧОК.

Затверджена наказом по університету від “26” квітня 2023р.

2. **Термін подання студентом проекту:**
3. **Вихідні дані до проекту:** Розрахунок випарного апарата для концентрування фосфату кальція , продуктивність за розділюваним розчином— 5 кг/с ,початквоа концентарція – 12 % , кінцева концентарція – 40 %
4. **Зміст пояснювальної записки:** а) основна частина: розглянуті існуючі конструкції апарата, обґрунтований вибір конструкції апарата; аналіз обраної конструкції в порівнянні з вітчизняними та світовими аналогами; розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції:

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

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

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

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): принципова схема установки – А1, кресленик складальний:

6. Консультанти розділів проекту:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Андрій КОВТУН доцент		
Економіка	Роман САЧОК старший викладач		

7. Дата видачі завдання: 16 травня 2023 р.

Студент

_____Олександр НЕСТЕРУК
(підпис)

Керівник дипломного проекту

_____Роман САЧОК
(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Терміни виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	2	3	
1	Узгодження теми, вихідних даних, визначення джерел інформації. Обґрунтування актуальності проекту	16.04.23	
2	Узгодження теми, вихідних даних, визначення джерел інформації. Обґрунтування актуальності проекту	16.04.23	
3	Оформлення та подання заявки на корисну модель	27.10.23	
4	Опис установки. Схема установки. Вибір і опис конструкції колони. Технічна характеристика установки, апарата. Добір матеріалів.	12.12.23	
5	Параметричний розрахунок: визначення основних розмірів апарата. Розрахунок гідравлічного опору колони	22.04.23	
6	Розробка складальних креслень апарата і його складальних одиниць. Добір конструктивних параметрів конструктивних елементів апарата	24.04.23	
7	Розрахунки на міцність. Розробка алгоритмів та програм розрахунку.	26.05.23	
8	Уточнення графічної частини проекту та специфікацій	15.05.23	
9	Обґрунтування економічної доцільності модернізації	22.05.23	
10	Розробка вимог до апарата з питань охорони праці	22.05.23	

1	2	3	4
11	Оформлення пояснювальної записки. Перевірка відповідності проекту діючим нормам за змістом і оформленням. Підготовка до захисту. Складення плану викладення доповіді, окремих питань	30.05.23	
12	Попередній захист проекту	01.06.23	
13	Корегування проекту за результатами попереднього захисту. Отримання рецензії, відзиву. Підготовка до захисту	10.06.23	

Студент

_____Олександр НЕСТЕРУК
(підпис)

Керівник дипломного проекту

_____Роман САЧОК
(підпис)

РЕФЕРАТ

УДК 661.525.3

Модернізація установки розкладання фосфатної сировини з розробкою випарного апарата:

Дипломний проект освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр»/ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»; Керівник Р. В. Сачок – К., 2023. – 128 с.: Викон. – О. М. Нестерук– Бібліогр.: 128 с.

Пояснювальна записка складається зі вступу, восьми розділів, висновків і списку посилань з 35 найменувань. Загальний обсяг записки становить 128 сторінок основного тексту, 13 рисунків, 3 таблиць і 4 додатків.

Метою проекту є модернізація випарного апарата з винесеною зоною кипіння для розкладання фосфатної сировини, що дозволяє підвищити ефективність роботи випарного апарата

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

ФОСФАТНА РЕЧОВИНА, ВИПАРНИЙ АПАРАТ, ГРІЮЧА КАМЕРА.

ABSTRACT

UDC 661.525.3

Modernization of the installation of the decomposition of phosphate raw materials with the development of an evaporation apparatus:

Diploma project of educational and qualification level "Bachelor"/ "KPI named after Igor Sikorsky"; Head R. V. Sachok - K., 2023. - 128 p.: Execution. - O. M. Nesteruk - Bibliography: 108 p.

The explanatory note consists of an introduction, eight chapters, conclusions and a list of references of 35 titles. The total volume of the note is 128 pages of the main text, 13 figures, 3 table and 4 appendices.

The goal of the project is to modernize the evaporator with an extended boiling zone for the decomposition of phosphate raw materials, which allows to increase the efficiency of the evaporator

The note contains a description of the technological process, the choice of the type of evaporation apparatus, its place in the technological scheme, the technical characteristics of the apparatus, a comparison of the main indicators of the developed design with analogues, a patent study of the design, measures are given regarding labor protection, and calculations are given that confirm the workability and reliability of the design. Recommendations for installation and operation are given. The installation was modernized and the expected technical and economic indicators were determined. The level of standardization and unification is also defined.

PHOSPHATE SUBSTANCE, EVAPORATION APPARATUS, HEATING CHAMBER.

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 – Машинобудування

Спеціальність: 133 – Галузеве машинобудування

Програма професійного спрямування: Інжиніринг, комп’ютерне моделювання та проєктування обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв

на тему: Модернізація установки розкладання фосфатної сировини з розробкою випарного апарата

Київ – 2023

Зміст

Вступ 12

1.	Призначення та область використання апарата в технологічній схемі	13
1.1.	Опис технологічного процесу	13
1.2.	Вибір типу апарата та її місце у технологічній схемі	14
2.	Технічна характеристика випарного апарата	16
3.	Опис та обґрунтування вибраної конструкції випарного апарата	17
3.1.	Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей випарного апарата	17
3.2.	Вибір матеріалів	18
3.3.	Порівняння основних показників розробленої конструкції з аналогами	19
3.4.	Патентне дослідження	20
4.	Охорона праці	29
4.1.	Електробезпека	30
4.2.	Шум і вібрація	32
4.3.	Повітря робочої зони	33
4.4.	Пожежна безпека	33
5.	Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції	36
5.1.	Параметричний розрахунок	36
5.2.	Конструктивний розрахунок	45

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Нестерук			Модернізація випарного апарату розкладання фосфатної сировини	Літ.	Арк.	Акрцшів
Перевір.		Гулієнко					9	120
Т. Контр.						КПІ імені Ігоря Сікорського, ІХФ, МАХНВ		
Н. Контр.								
Затверд.								

5.3.	Визначення розмірів штуцерів	48
5.4.	Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки	52
5.5.	Розрахунок еліптичного днища під дією внутрішнього надлишкового тиску	54
5.6.	Товщина стінки циліндричної обичайки винесеної грійної камери випарника, що працює за атмосферного тиску	55
5.7.	Фланці	59
5.8.	Розрахунок опор випарного апарата	72
5.9.	Розрахунок теплової ізоляції	79
6.	Рекомендації щодо монтажу та експлуатації	83
7.	Рівень стандартизації та уніфікації	86
8.	Економічна частина проекту	88
8.1.	Техніко – економічні обґрунтування доцільності зміни конструкції	88
	Висновок	94
	Перелік посилань	98
	Додаток А	101
	Додаток Б	106
	Додаток В	109
	Додаток Г	118

Перелік скорочень, умовних позначень та термінів

Умовні позначення:

F – площа теплообміну, м^2 ;

H, h – висота, м ;

C – прибавка до розрахункової товщини, м ;

D, d – діаметри, м ;

m – маса, кг ;

W – кількість випареної води, кг/с ;

G – продуктивність, кг/с ;

t – температура, К ;

r – питома теплота пароутворення, кДж/кг ;

α_1 – коефіцієнт тепловіддачі з боку водяної пари, $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{град}$;

α_2 – коефіцієнт тепловіддачі з боку стінки, $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{град}$;

K – коефіцієнт теплопередачі,

$\text{Вт/м}^2 \cdot \text{град}$; Критерії:

Nu – критерій Нуссельта;

Re – критерій Рейнольдса;

Вступ

Фосфатні добрива - це речовини або суміші, що містять фосфор формі фосфатів. Фосфор є одним із трьох основних макроелементів, необхідних для росту та розвитку рослин, поряд з азотом і калієм. Він грає важливу роль у фотосинтезі, передачі енергії, обміні речовин, формуванні квітів, насіння та кореневої системи рослин.

Фосфатні добрива можуть бути виготовлені з різних сполук фосфору, таких як суперфосфати, фосфати амонію, фосфати калію та інші. Вони надають рослинам додатковий постачання фосфору, якого може бракувати у ґрунті, і допомагають утримувати його у доступній формі для рослин.

Застосування фосфатних добрив допомагає покращити розвиток кореневої системи рослин, стимулює цвітіння, плодоношення та формування якісного насіння. Вони широко використовуються в сільському господарстві та садівництві для підвищення врожайності та покращення якості рослинної продукції.

Метою даної дипломної роботи є модернізація установки розкладання фосфатної сировини з розробкою випарного апарату.

В роботі необхідно описати конструкцію випарного апарату та його основних складальних одиниць та деталей, вибрати матеріали для його виготовлення, порівняти основні показники розробленої конструкції з аналогами, провести патентні дослідження та навести заходи по охороні праці; провести параметричний розрахунок випарного апарату та розрахунки на міцність основних деталей та вузлів конструкції; надати рекомендації, щодо монтажу та експлуатації та визначити рівень стандартизації та уніфікації апарату; виконати техніко-економічне обґрунтування модернізації апарату; розробити креслення технологічної схеми, складального креслення випарного апарату, гріючої камери, виконати 3д однієї з частин апарату.

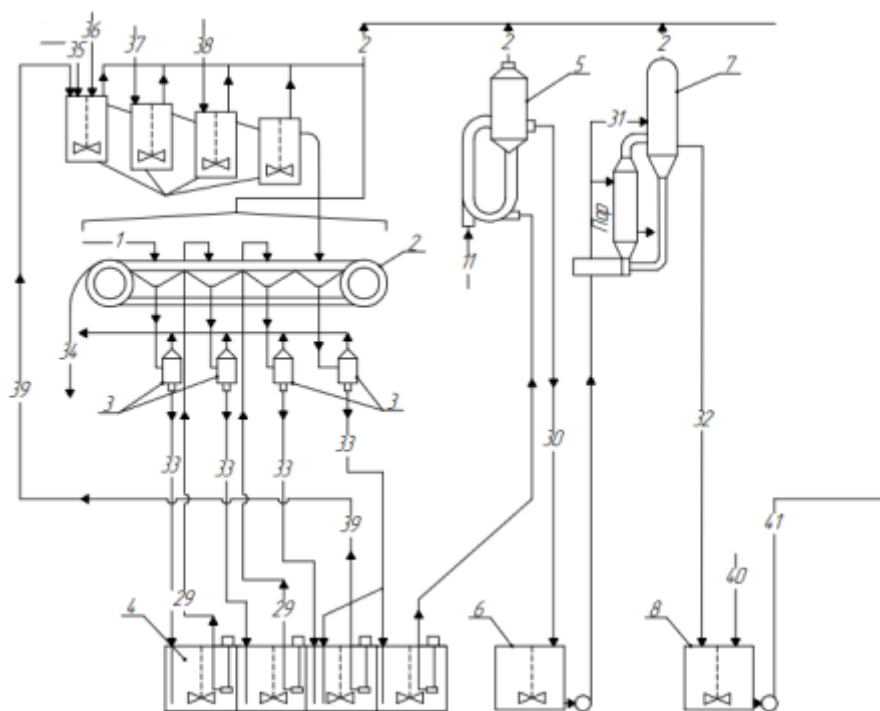
Завдання на дипломний проект одержано квітні 2023 року під час проходження переддипломної практики в ІГ НАН України.

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Призначення та область використання апарата в технологічній схемі

1.1. Опис технологічного процесу

Схема процесу зображена на рисунку 1.1. [2-4]



1-реактор, 2-стрічковий вакуум-фільтр, 3 – сепаратор, 4- збірник фільтр , 5 , 6, 8 - збірники; 7-вакуум-випарний апарат

Рисунок 1.1. Схема процесу розкладання фосфатної сировини.

Процес отримання нітрофоски включає послідовність кроків, що забезпечують високу якість кінцевого продукту. Спочатку сульфат амонію подається до третьої секції, де відбувається доосадження кальцію. Потім осад фосфогіпсу піддається процесу дозрівання в четвертій секції. Весь цей процес триває приблизно 4,5 години при температурі 55 °С.

Після проходження через четверту секцію, пульпа направляється на вакуум-фільтр 2 для відділення осаду дигідрату сульфату кальцію. Фільтрація $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ проводиться за допомогою чотирьох фільтратних схем з протиточним промиванням осаду. Частина першого фільтрату та другий фільтрат повертаються

					ЛН91.065342.001	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

у реактор 1 як оборотний розчин, щоб забезпечити оптимальне співвідношення між твердою та рідкою фазами. Решта першого фільтрату використовується для амонізації в швидкісному амонізаторі-випаровувачі 5. Процес амонізації здійснюється за рН 4,5 і при температурі 110-120 °С.

Після амонізації пульпа направляється до випарного апарата 7, де відбувається випаровування до досягнення вмісту H₂O на рівні 15%. Отриману випарену пульпу змішують в баку-змішувачі 8 з хлоридом калію та направляють на гранулювання і сушіння в апараті БГС. Гранульований продукт піддається класифікації та охолодженню.

Осад фосфогіпсу з вакуум-фільтра використовується для конверсії в карбонат кальцію та сульфат амонію. Карбонат кальцію видаляють, а сульфат амонію повертають у реактор для осадження кальцію. Цей процес дозволяє отримувати нітрофоску з використанням сульфатного рециклу, що дозволяє виробляти добрива різних марок з відмінними фізико-механічними властивостями, навіть при використанні низькоякісної сировини, такої як фосфорити з вмістом 24-26% P₂O₅ і 3,0-3,8% MgO або прожарені фосфорити з вмістом до 6% Fe₂O₃. Під час переробки фосфоритів досягається продукт, що містить 92% від загальної кількості P₂O₅ у водорозчинній формі.

Використання схеми з азотною та сірчаною кислотами разом із рециклом сульфату амонію дозволяє забезпечити економію сірчаної кислоти і одночасно отримувати високоякісні добрива.

1.2. Вибір типу апарата та його місце у технологічній схемі

Виберемо випарний апарат з примусовою циркуляцією. Він є пристроєм, який використовується для випаровування рідини шляхом навмисного циркулювання рідини через систему. Цей тип апарату використовується в різних промислових процесах, де необхідно видаляти розчинені речовини або концентрувати розчини.

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основними компонентами випарного апарата з примусовою циркуляцією є резервуар для рідини, насоси для примусової циркуляції рідини та теплообмінники для передачі тепла від нагрівального джерела до рідини. Резервуар зазвичай має конструкцію з витримуваним тиском і може мати контрольовану температуру.

Процес випаровування починається з подачі рідини в резервуар, де вона піддається нагріванню від нагрівального джерела, такого як пар або гарячий газ. Насоси примусово циркулюють рідину через теплообмінники, де відбувається передача тепла від нагрівального джерела до рідини. Цей процес сприяє випаруванню розчинених речовин і концентруванню розчину.

Примусова циркуляція рідини дозволяє підтримувати сталу інтенсивність теплообміну, що сприяє ефективному випаровуванню рідини. Крім того, циркуляція допомагає уникнути утворення накипу або нагромадження розчинених речовин на поверхні теплообмінників.

Випарний апарат з примусовою циркуляцією має декілька переваг, таких як висока продуктивність, точний контроль температури і концентрації, ефективне використання.

					ЛН91.065342.001	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

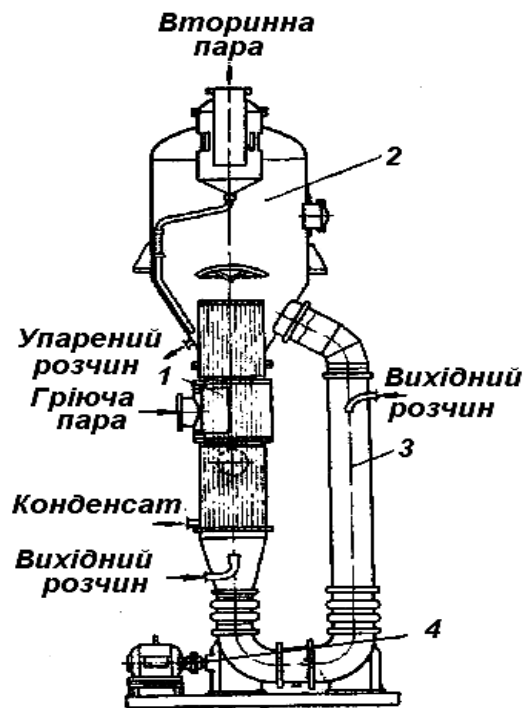
2. Технічна характеристика випарного апарата

Тиск у трубному просторі, МПа	0,1;
тиск у міжтрубному просторі, МПа	1,2;
початкова температура води, К	285;
температура водяної пари, К	565;
початкова температура розчину, К	333;
кінцева температура розчину, К	564;
загальна поверхня теплообміну, м ²	400;
загальна кількість труб, шт	670;
діаметр апарата, м	1,6;
зовнішній діаметр труб, м	0,040;
внутрішній діаметр труб, м	0,038;
довжина труб апарата, м	6;
товщина стінки апарата, м	0,010;
ширина апарата, м	3,22;
довжина	4,883;
висота апарата, м	20,050;
маса апарата, кг	28290.

3. Опис та обґрунтування вибраної конструкції випарного апарата

3.1. Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей випарного апарата

Схема показана на рисунку 3.1.



1 – нагрівальна камера; 2 – сепаратор; 3 – циркуляційна труба; 4 – циркуляційний насос

Рисунок 3.1 – Схема випарного апарата

Процес примусової циркуляції в системі передбачає подачу вихідного розчину до циркуляційної труби номер 3, який забезпечується спеціальним циркуляційним насосом номер 4.

У разі, коли швидкість руху випаровуваного розчину є високою, відбувається його кипіння на короткому відрізку перед виходом з кип'ятильних труб. Це призводить до переміщення зони кипіння до верхньої частини нагрівальної камери. Значна частина довжини труби має рідину, яка перебуває у

стані незначного перегріву, оскільки тиск у нижній частині труби вищий за тиск у верхній частині, через гідростатичний тиск стовпа рідини та гідравлічний опір труби.

У кип'ятильних трубах розчин має високий рівень, що призводить до заповнення значної частини циркуляційного контуру рідиною. Паровміст у суміші рідини і вторинної пари є незначним. Для забезпечення ефективної циркуляції необхідно використовувати циркуляційний насос, який може перекачувати великий об'єм рідини з помірною споживаною електроенергією. Основна енергія витрачається на подолання гідравлічного опору труби. Часто для цих цілей використовуються пропелерні насоси, які забезпечують оптимальну швидкість циркуляції, враховуючи техніко-економічні розрахунки.

3.2. Вибір матеріалів

З урахуванням вимог [3,7]

При виборі матеріалу для виготовлення випарного апарату, важливо враховувати відповідність вимогам щодо температурного діапазону та тискових меж. Ми рекомендуємо використовувати нержавіючу сталь 08X18H10T, яка забезпечує безпечну експлуатацію в діапазоні від -30 °C до 550 °C і витримує тиск до 10 МПа.

Для забезпечення стійкості до міжкристалічної корозії в трубопроводах випарного апарату рекомендується використовувати нержавіючу сталь марки Х18Н10Т. Цей матеріал є оптимальним вибором, оскільки він може пережити вплив агресивних середовищ і високих температур, які виникають під час процесу випаровування.

Для забезпечення герметичності прокладок випарного апарату рекомендується використовувати матеріал на основі пароніту. Пароніт є гнучким матеріалом з високою герметичністю, що дозволяє запобігти витoku рідини або газу.

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Щодо кріпильних елементів, таких як шайби, болти і гайки, пропонується використовувати сталь марки 35Х. Цей матеріал відомий своєю міцністю і високою стійкістю до механічних навантажень, що є важливим для забезпечення надійного кріплення елементів випарного апарату.

Окрім вибору відповідних матеріалів, необхідно дотримуватися вимог щодо конструкції, монтажу та експлуатації випарного апарату, щоб забезпечити його надійність та безпеку. Правильне планування, використання відповідних матеріалів та виконання стандартів є ключовими факторами успішної роботи випарного апарату.

3.3. Порівняння основних показників розробленої конструкції з аналогами

Після ретельного аналізу різних типів випарних апаратів за допомогою нашої моделі, було проведено оцінку основних вимог до конструкції та вибору випарника. Вибрані вимоги включають велику площу поверхні теплообміну, високий коефіцієнт тепловіддачі, ефективну циркуляцію, надійність, герметичність, легке очищення поверхні теплообміну та стандартизацію вузлів і деталей.

Після детального порівняння різних варіантів випарників, зроблено висновок, що найбільш відповідають нашим вимогам випарники з природньою циркуляцією та розширеною зоною кипіння. Вони мають просту конструкцію, що сприяє легкості очищення та обслуговуванню. Однак, слід врахувати, що ці типи випарників можуть вимагати значних енерговитрат на обігрів циркуляційної труби, а також інтенсивність циркуляції обмежена. Крім того, він характеризується високою інтенсивністю циркуляції, що сприяє ефективному випаровуванню.

Після всебічного аналізу, ми прийшли до висновку, що випарники з вимушеною циркуляцією та розширеною зоною кипіння найбільше відповідають нашим основним вимогам. Проте, перед прийняттям остаточного рішення, варто врахувати всі фактори, зокрема особливості проекту або застосування випарника.

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У таблиці 3.1 міститься зведена порівняльна інформація про парогенератори.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика випарних апаратів

Основні технологічні показники	з вимушеною циркуляцією	з внутрішньою циркуляційною трубою	з винесеною зоною кипіння
Поверхня теплообміну, бали (1 – 4)	4	2	3
Інтенсивність теплообміну бали (1 – 4)	3	2	3
Температура середовищ, бали (1 – 4)	3	2	3
Надлишковий тиск у кожусі, бали (1 – 4)	3	2	4
Габаритні розміри, бали (4 – 1)	2	4	2
Маса апарата, бали (4 – 1)	2	4	3
Σ	17	16	18

Висновок: Після огляду та вивчення всіх видів випарників , ми переконуємося , що наш вибір апарату є доцільним.

3.4. Патентне дослідження

Мета пошуку інформації – визначення патентоспроможності проектного

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

апарату й визначення тенденцій розвитку напрямку в техніці. Результати пошуку наведені в Додатку Б.

Для порівняння було обрано патенти [9-13]

US2022341636A1

Даний патент [9] розкриває випарник і пристрій для його блокування рідини. Пристрій для блокування рідини включає в себе: корпус, який має перший сепаратор у формі пластини, що тягнеться в поздовжньому напрямку, причому перший сепаратор має безліч отворів і безліч отворів, що сполучають зовнішню частину корпусу з внутрішньою частиною корпусу; і другий сепаратор, прикріплений до корпусу, причому другий сепаратор сконфігурований так, щоб мати безліч отворів, які стикаються один з одним, так що падіння тиску, яке створюється, коли рідина проходить через другий сепаратор через отвори, є меншим, ніж падіння тиску, яке виникає, коли рідина проходить через перший сепаратор. Дана заявка може покращити ефект розділення газ-рідина.

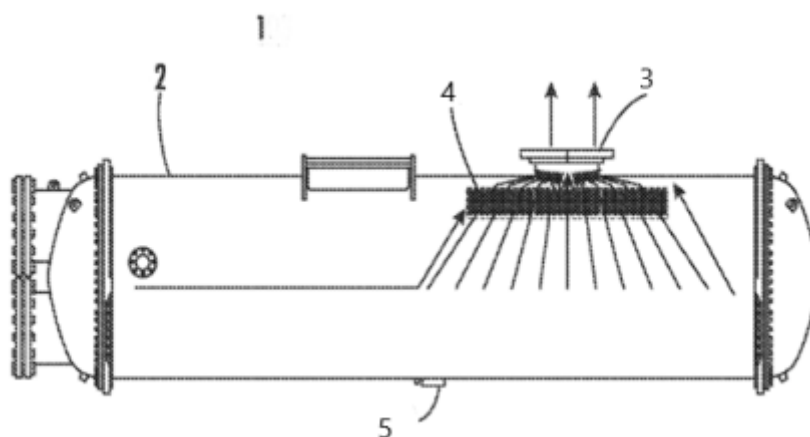


Рисунок 3.2. - Принципова діаграма варіанту здійснення випарника

Випарник 1 містить корпус 2, який розділяє випарник на внутрішню та зовнішню частини. Випарник 4 також містить вхідний отвір 5 у нижній частині та всмоктувальний або вихідний отвір 3 у верхній частині, а пристрій 4 для блокування рідини розташований під вихідним отвором 3. На малюнку видно, що холодоагент тече до вихідного отвору 3 у напрямках стрілок усередині випарника та проходить через пристрій 4 блокування рідини перед входом у вихідний отвір 3, так що краплі рідини в газоподібному холодоагенті блокуються на розетка 3.

Пристрій блокування рідини може бути з'єднаний з корпусом 2 випарника зварюванням або іншими можливими способами.

Переваги:

- покращений ефект блокування рідини.

- реалізує кілька разів сепарації шляхом забезпечення кількох сепараторів.

Порівняно з одноразовим відділенням існуючих пристроїв для блокування рідини, ця заявка може збільшити ефект відділення газ-рідини.

-У порівнянні з пристроєм блокування рідини лише з одноразовим відділенням, ця заявка може додатково зменшити явище захоплення рідини у випарнику без надмірного збільшення перепаду тиску газоподібного холодоагенту. Дана заявка може зробити конструкцію випарника більш компактною та ефективною.

- У цій заявці пристрій для блокування рідини може зменшити швидкість захоплення рідини холодоагентом і, отже, може додатково зменшити частину рідини, захопленої холодоагентом, яка надходить у компресор, тим самим підвищуючи ефективність роботи компресора, і тим самим покращуючи ефективність теплообміну всього контуру охолодження.

- Другий сепаратор має форму сітки, таку як дротяна сітка, яку легко реалізувати.

Недоліки:

- великі затрати на електроенергію

- складність монтажу

US2022203260A1

Мета винаходу [10] полягає в тому, щоб запропонувати пристрій для випаровування суміші за допомогою роторного випарника для відновлення продукту, гарантуючи при цьому збереження продукту, зокрема, коли контейнер отриману суміш, що випаровується, видаляють з роторного випарника після випаровування. Тому пропонується знімний захисний пристрій для роторного випарника, що містить: перший кінець для герметичного з'єднання з обертовим валом роторного випарника; другий кінець для герметичного з'єднання з

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контейнером для прийому суміші, що випаровується; і тіло, з'єднане за рідиною з першим і другим герметичними з'єднувальними кінцями, що включає систему клапанів для вибіркового проходу між першим і другим кінцями випаровуваного компонента суміші, що підлягає випаровуванню.

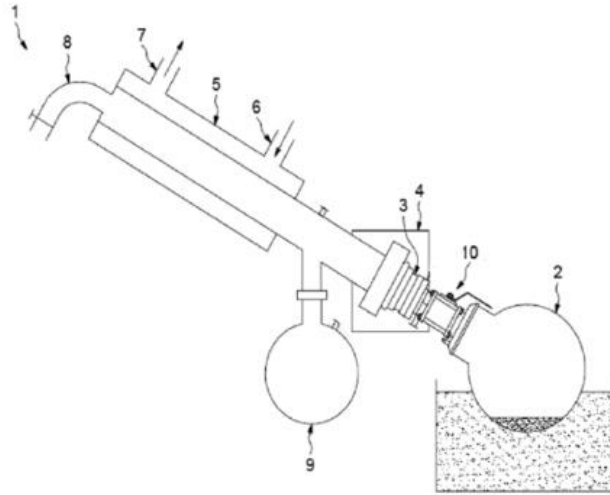


Рисунок 3.3. - Схема роторного випарника, що містить утримуючий пристрій

Роторний випарник 1 містить контейнер 2 для прийому суміші, що випаровується, який, як показано, переважно є колбою. Переважно приймальний контейнер 2 занурюють у нагрівальну ванну. Вал 3 обертання з'єднаний з блоком двигуна 4 і забезпечує обертовий привід контейнера, що приймає суміш, що випаровується. Обертовий вал 3 увінчаний холодильником 5, переважно забезпеченим входом і виходом для холодної рідини, відповідно 6 і 7, і отвором 8 для здійснення випаровування під вакуумом. Крім того, між обертовим валом 3 і холодильником 5 розташований контейнер 9 для відновлення. Роторний випарник 1 також містить знімний утримуючий пристрій 10, розташований між обертовим валом 3 і приймальним контейнером 2.

Переваги:

- висока герметичність
- збільшення продуктивності

Недоліки:

- складність монтажу та обслуговування..

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

-Утримання операції випаровування на роторному випарнику нелегко досягти, як тільки об'єм колби перевищує кілька літрів.

US11629109B2

Даний винахід [11] відноситься до системи екстракційної дистиляційної колони, яка містить комбіновану колону (1) і бічну ректифікаційну колону (2). Даний винахід також відноситься до процесу відділення бутенів від потоків С4-вуглеводнів з використанням системи екстракційної дистиляційної колони.

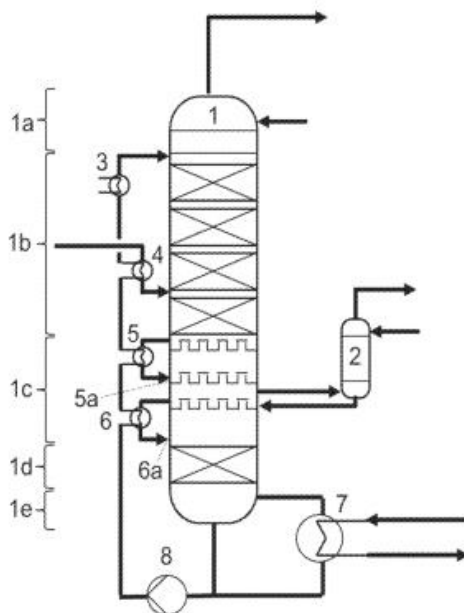


Рисунок 3.4.- Система екстракційної дистиляційної колони для відділення бутенів від С4-вуглеводневого потоку.

Потік рідкого С4-вуглеводню випаровується через живильний випарник (4) і передається в секцію випадкової насадки (1b) комбінованої колони (1). Розчинник, якщо необхідно, доводиться до бажаної температури через залишковий охолоджувач (3) і так само передається в секцію випадкового наповнення (1b) комбінованої колони (1), де вхідний отвір просторово розташований над входом для С4 - потік вуглеводнів, у даному випадку над першим випадковим насадковим шаром. Потік, збагачений бутанами, який відводять, отримують у верхній секції (1a) комбінованої колони (1). Можлива конденсація тут не показана, лише рециркуляція можливого субпотoku вказана стрілкою. Наповнений розчинник збирається в колекторі рідини в секції збору (1c) комбінованої колони (1), як показано лотком для димоходу на малюнку. Принаймні частина завантаженого

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розчинника відводиться звідти та повертається в секцію збору (1с) через першу систему бокового випарника (5), а потім через впускний отвір (5а). Рідка фаза збирається в додатковому колекторі рідини, виводиться звідти і через систему другого бічного випарника (6) через впускний отвір (6а) повертається в секцію збору, звідки рідка фаза переходить в секцію регенерації (1d) . Нижче останнього випадкового шару ущільнювача отриману там рідку фазу відбирають і пропускають через нижній випарник (7) у нижню частину (1e) комбінованої колони (1). Розчинник, збіднений бутенами, потім відбирається з нижньої частини (1 е) комбінованої колони (1) і за допомогою насоса (8) повертається в секцію випадкового наповнення комбінованої колони (1) через бічні системи ректифікації (5, 6) і живильний випарник. Між входом (5а) і входом (6а) газоподібний потік відбирається і передається в бічну ректифікаційну колону (2), де залишковий розчинник і вода повинні бути відокремлені від бутенів. Потік, збагачений бутенами, отримують у верху бічної ректифікаційної колони (2). Цей потік може бути підданий одно- або багатоступеневій конденсації, яка не показана на малюнку. Тільки можливий потік переробки вказано стрілкою. Тут у нижній частині бічної ректифікаційної колони (2) утворюється рідка фаза, яку можна рециркулювати в секцію збору комбінованої колони (1).

Переваги:

- потребує менше місця
- є менш дорогою в експлуатації

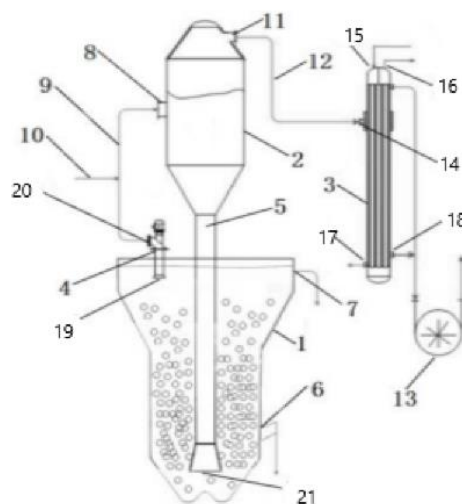
Недоліки:

- зменшення продуктивності

CN218589717U

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Корисна модель [12] розкриває пристрій безперервної випарної кристалізації вакуумного типу, належить до технічної галузі випарної кристалізації та має на меті вирішити проблеми, пов'язані з тим, що кристалічні продукти з великими частинками важко культивувати, а при звичайній кристалізації легко виникають струпи та блокування труб. пристрій. Верхня стінка кристалізатора забезпечена циркуляційним насосом, нижня стінка флеш-випарника сполучена з центральною напрямною трубою, центральна напрямна труба проходить у кристалізатор, нижня частина бічної стінки кристалізатора забезпечена вихід сольового шламу, верхня частина бічної стінки кристалізатора забезпечена випускним отвором для маточного розчину, а бічна стінка миттєвого випарника забезпечена отвором для подачі; конденсатор забезпечений каналом подачі, порт подачі з'єднаний з випускним кінцем циркуляційного насоса через трубу подачі, труба подачі додатково з'єднана з входною трубою міцного розсолу, вихід пари формується в положенні вище порт подачі бічної стінки випарника для швидкого миттєвого випаровування, а конденсатор додатково забезпечений входним отвором для пари, входним отвором для охолоджувальної рідини, вихідним отвором для охолоджувальної рідини та вихідним отвором для конденсату. Вихідний отвір для пари сполучається з входним отвором для пари через паропровідну трубу. Корисна модель підходить для пристрою безперервної випарної кристалізації вакуумного типу.



1-кристалізатор, 2-флеш-випарник, 3-конденсатор, 4-циркуляційний насос, 5-центральний трубопровід, 6-вихідний патрубок соляної суспензії, 7-вихідний патрубок маточного розчину, 8- впускний патрубок, 9- живильна труба, 10-вхідний патрубок концентрованого розсолу, 11-паровий вихід, 12-паропровід, 13-вакуумний насос, 14-впускний і вихідний отвори для пари, 15-впускний отвір для охолоджуючої рідини, 16-вихідний отвір для охолоджуючої рідини, 17-вихідний отвір для конденсату, 18-неконденсований газ вихідний порт, 19-вхідний отвір циркуляційного насоса, 20-вихідний отвір циркуляційного насоса, 21-центральний вихідний трубопровід.

Рисунок 3.5 - Структурне зображення корисної моделі;

Переваги:

- проста конструкція
- висока ефективність
- немає поверхні теплообміну, що принципово вирішує проблему утворення шрамів і закупорювання труб, а також забезпечує безперервну та стабільну роботу пристрою протягом тривалого часу

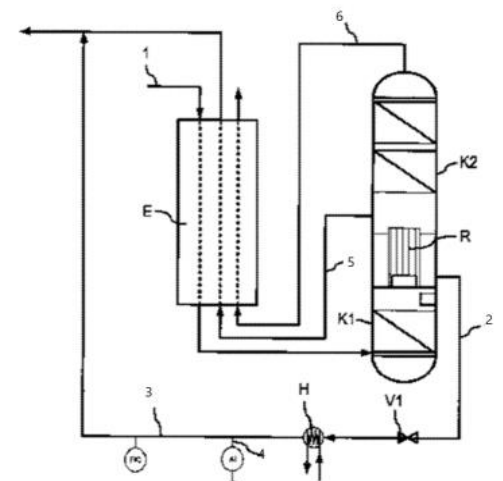
Недоліки:

- мала продуктивність

US2022163432A1

В патенті [13] описується процес випаровування продуктивної рідини з кріогенного випарника рідини, рідина, що містить щонайменше одну домішку, у якому продуктивна рідина відбирається з ванни рідини, що оточує випарник або виходить з випарника, уся продуктивна рідина випаровується в нагрівачі. , який відрізняється тим, що аналізується вміст щонайменше однієї домішки щонайменше в одній частині або навіть у всій нагрітій пароподібній рідині та вимірюється швидкість потоку щонайменше однієї частини або навіть усієї нагрітої пароподібної рідини. Винахід пропонує використовувати процес, який робить можливим надійний відбір зразків кріогенної рідини, водночас використовуючи установку, яка потребує незначного обслуговування.

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Е-основний теплообмінник, К1,К2-подвійна колона, R-конденсатор, Н-нагрівач, V1-клапан, 1-потік повітря,2- продувка,3-газоподібна продувка,4-невеликий потік,5-потік кисню,6-потік азоту

Рисунок 3.6. - Пристрій для відділення повітря за допомогою кріогенної дистиляції

Переваги:

- висока продуктивність
- мінімізація кількості компонентів
- компактність

Недоліки:

- збільшене електроспоживання.

4. Охорона праці

Охорона праці – являє собою систему заходів і правил, спрямованих на запобігання нещасним випадкам на робочому місці та забезпечення безпеки і здоров'я працівників. Основною метою охорони праці є запобігання професійним захворюванням, травмам та іншим несприятливим наслідкам, пов'язаним з роботою.

Система охорони праці включає розробку та впровадження відповідних політик, процедур, інструкцій та стандартів з охорони здоров'я та безпеки на робочому місці. Сюди входить оцінка ризиків, планування безпечних робочих процесів, забезпечення необхідним обладнанням та засобами захисту, навчання та інформування працівників, контроль за дотриманням правил безпеки, а також системи реагування на надзвичайні ситуації та нещасні випадки.

Охорона праці є невід'ємним елементом роботи в усіх галузях і професіях. Належним чином організована охорона праці знижує ризики для працівників, підвищує продуктивність і сприяє створенню здорового та безпечного робочого середовища.

Згідно закону України про охорону праці на нові машини, механізми, обладнання [14] необхідно розробити нешкідливі та безпечні умови їх експлуатації обслуговуючим персоналом, потрібно оформити сертифікат на безпечну експлуатацію, згідно зі встановленими зразками.

Створення здорових та безпечних умов праці обумовлюють необхідність раннього виявлення шкідливих і небезпечних факторів, для того щоб на стадії проектування розробити заходи, які слід проводити для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу.

Тема проекту: Розрахунок випарного апарата для концентрування фосфату кальція.

Випарний апарат рекуперації фосфату кальція розміщена в приміщенні довжиною 30м, шириною 10м, висотою 6м (1800 м³).

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Шкідливими і небезпечними виробничими факторами при роботі та обслуговуванні лінії є:

- 1) Електробезпека;
- 2) Освітлення;
- 3) Шум і вібрації;
- 4) Повітря робочої зони;
- 5) Пожежна безпека.

Розробка заходів по охороні праці, щодо усунення шкідливих і небезпечних виробничих факторів наведена далі.

4.1. Електробезпека

У зв'язку з тим, що установка має випарний апарат, приміщення відносимо до особливо небезпечних, згідно з правилами устрою електроустановок (ПУЕ).

Устаткування лінії, що розробляється в проекті буде знаходитись в сухому приміщенні з температурою і вологістю повітря, що відповідають [15]. Підлога приміщення залізобетонна.

$U = 220 \text{ В}$, частота $f = 50 \text{ Гц}$. Тип електромережі змінний із ізольованої нейтраллю.

Причини ураження обслуговуючого персоналу можуть бути такими:

- помилкове включення установки;
- замикання на корпусі;
- випадки дотику людей до відкритих струмопровідних частин електроустаткування;
- старіння ізоляції і втрата нею ізоляційних властивостей;

Основними заходами від ураження електричним струмом є:

- 1) ізоляція струмопровідних частин пульта керування ($R \geq 0,5 \text{ МОм}$);
- 2) застосування малих напруг і електричний поділ мереж.

Для забезпечення безпеки електроспоживачів застосовується напруга 220 В

- 3) захисне занулення;

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4) рубильники включення замкнені в спеціальних шафах;
5) при роботі з електроінструментом, застосовуються індивідуальні захисні засоби, такі як діелектричні рукавички і калоші, гумові килимки, ізольовані підставки.

6) автоматичне блокування електроустановки (протягом не більш 0,2 сек.)

Забороняється:

1) проводити роботи на вузлах лінії;
2) проводити ремонт лінії без вимкнення електричної мережі;
3) залишати лінію, що працює без нагляду;
4) допускати до роботи людей, які не пройшли навчання і перевірку знань по питанням охорони безпеки праці.

5) проводити роботи в аварійному режимі лінії.

В аварійному режимі захисне заземлення $R_{\text{заз}} = 4 \text{ Ом}$.

Принцип захисту захисного заземлення у випадку мережі з ізолюованою нейтраллю на рисунку 4.1

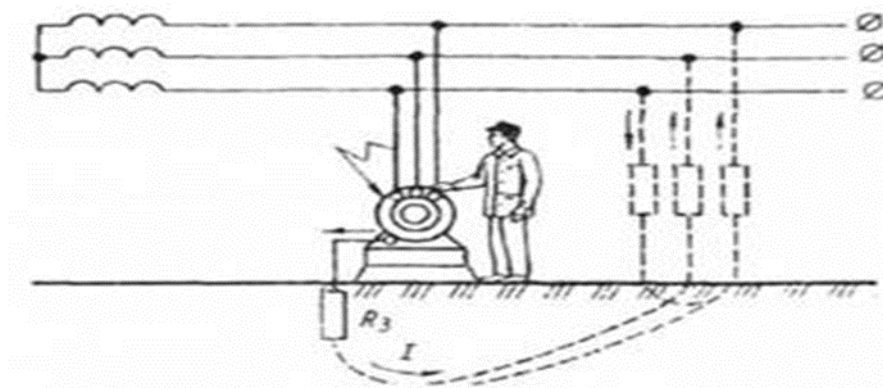


Рисунок 4. 1 – Замикання на приладі, підключеного до мережі з Ізолюованою нейтраллю.

Біля затисків заземлення нанесені незмивні червоні знаки “Земля”. Арк.
Небезпека впливу елементів устаткування, нагрітих до високих температур

Небезпечними елементами в установці є:

- поверхні апарату, теплообмінників;
- поверхні двигунів.

4.2. Шум і вібрація

Джерелом шуму при роботі обладнання є :

- транспортери;
- електродвигуни;
- елеватори;
- електронасоси
- вентилятори;
- виробничий шум.

Рівень шуму в джерелі складає $L=100$ дБА.

Для зменшення виробничого шуму передбачено проведення наступних заходів:

- своєчасне змащування всіх поверхонь, що труться;
- застосування раціональних конструкцій, нових матеріалів і технологічних процесів;
- звукоізоляція устаткування за допомогою кожухів, захисних конструкцій, оздоблення стін, стелі, підлоги тощо.

При виконанні заходів по зменшенню виробничого шуму, його фактичні показники не перевищуватимуть 70дБА згідно [18].

Джерелом вібрації є насоси і обертові вентиляційних систем. Вібрації виникають внаслідок неточності установки частин, що обертаються, нещільного з'єднання корпусів обертових частин до фундаменту.

Усунення впливу вібрації досягається наступними заходами:

- обладнання лінії встановлено на фундаменти, маса яких набагато перевищує масу встановленого обладнання;
- використання гумових прокладок в якості амортизаторів;
- проектування додаткових ребер жорсткості.

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3. Повітря робочої зони

Параметри повітря робочої зони відповідають ДСН 3.3.6.042-99.

- в холодну пору року підігрів приміщення відбувається завдяки подачі в батареї технічної води, яка нагріта до температури 50 - 60°C;
- в теплу пору року – природна вентиляція через верхні пройоми.

Під час роботи виробництва відбувається викид парів ацетону в приміщення, для видалення токсичного пару з повітря встановлена місцева вентиляція у вигляді витяжних зонтів. Також в цеху встановлена вентиляція.

4.4. Пожежна безпека

Промислові випарні установки відносяться до категорії найбільш пожаро- і вибухонебезпечних. Проблеми безпеки виробництва при роботі з парами летучих розчинників визначаються легкою займистістю й горючістю летучих розчинників, можливістю утворення вибухових сумішей пари розчинників з повітрям, а також токсичністю більшості розчинників, що застосовуються. Ці особливості повинні враховуватися при проектуванні й експлуатації випарних установок. У першу чергу варто піклуватися про те, щоб не допустити утворення небезпечних вибухових і токсичних концентрацій. Максимально припустима концентрація пар розчинника не повинна перевищувати 20% нижньої концентраційної межі загорання пари розчинника в суміші з повітрям. Це досягається максимальною герметизацією всіх апаратів і комунікацій, а також їх характеристик у належному стані. Для виконання вищевказаних умов безпечної роботи необхідно скоротити при проектуванні до мінімуму число рознімних сполук в устаткуванні й комунікаціях; всі повітряні ємності і апарати, у яких перебуває летучий розчинник, або сполучення з атмосферою через вогнеперешкоди, або підключати до системи рекуперації, а трубопроводи для відводу повітря, що містять хоча б і незначну кількість пари розчинника, повинні виводитися із приміщення через дах, покритий негорючим матеріалом.

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На випарних установках за насосами, призначеними для транспортування паро-повітряної суміші, передбачаються аварійні вихлопні труби із засувками, що дозволяють при необхідності виводити паро-повітряну суміш у трубу загальної промислової вентиляції, не припиняючи відсмоктування пари розчинників із приміщень основного виробництва.

Крім того, з метою забезпечення безпечної роботи необхідно виключити можливість утворення іскор усередині встаткування, трубопроводів й у приміщеннях. Для виконання цієї умови насоси, використовувані при транспортуванні паро-повітряної суміші, повинні бути вибухобезпечного типу, а електродвигуни – або у вибухобезпечному виконанні, або винесені в інше приміщення, ізольоване від випарника. Застосування пасових передач не дозволяється, тому що при ковзанні приводних ременів у шківках відбувається виникнення зарядів статичної електрики, що може привести до утворення іскор. Всі механізми, апарати й комунікації, у яких можливе виникнення статичної електрики, необхідно ретельно заземлювати. З метою обережності варто заземлювати також все технологічне встаткування й комунікації. Категорично забороняється на діючій установці робити роботи, пов'язані з використанням відкритого вогню.

Чищення й ремонт устаткування й трубопроводів, а особливе проведення робіт з використанням відкритого вогню на випарній установці, вимагають ретельної підготовки, здійснюваної по заздалегідь складеному плані, що передбачає операції по зупинці всієї установки або тільки ремонтуємого, звільненню від вмісту, зняттю тиску, промиванню, розкриттю й т.д. Технологічна бригада, що обслуговує установку, бере безпосередню участь у здійсненні цього плану. Всі роботи по підготовці зазначених операцій повинні заноситися в спеціальний журнал, по записах у якому можна встановити стан того або іншого на період зміни бригад.

Серед причин, що можуть викликати загорання, найбільше ймовірними є такі:

- несправність електроустаткування;

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- струми короткого замикання і навантаження кабелів живлення;
- загоряння ізоляції електропроводки;
- використання вогню в неналежному місці,
- порушення технологічного процесу в установці.

Запобігання загоряння забезпечується такими мірами:

- дотримання технологічних норм і правил експлуатації;
- паління тільки у відведених для цього місцях;
- своєчасне проведення інструктажу з техніки безпеки
- організація агітації по протипожежній безпеці та її активне розповсюдження;
- встановлення системи електричної пожежної сигналізації (ЕПС) і засобів оперативного зв'язку з пожежною частиною; - наявність засобів пожежогасіння.

В якості засобів гасіння пожежі використовують вуглекислі вогнегасники ОУ-8 (5 шт.), щити (5 шт.) і ящики з піском (3 шт.), котрі знаходяться на видних і загальнодоступних місцях.

В якості засобів оповіщення встановлена пожежна сигналізація із термооповіщувачами.

Висновок:

Даний розділ дипломного проекту ставить своєю задачею проаналізувати й розробити наступні заходи безпеки, що виникають при проектуванні ділянки розкладання фосфату кальція:

- електробезпечність технологічних процесів і устаткування;
- пожежна безпека;

Фосфат кальцію не є вогнєнебезпечною речовиною. Він не підтримує горіння та не виділяє легкозаймистих газів при звичайних умовах.

Згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Категорія приміщення Д зниженопожежо небезпечна

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції

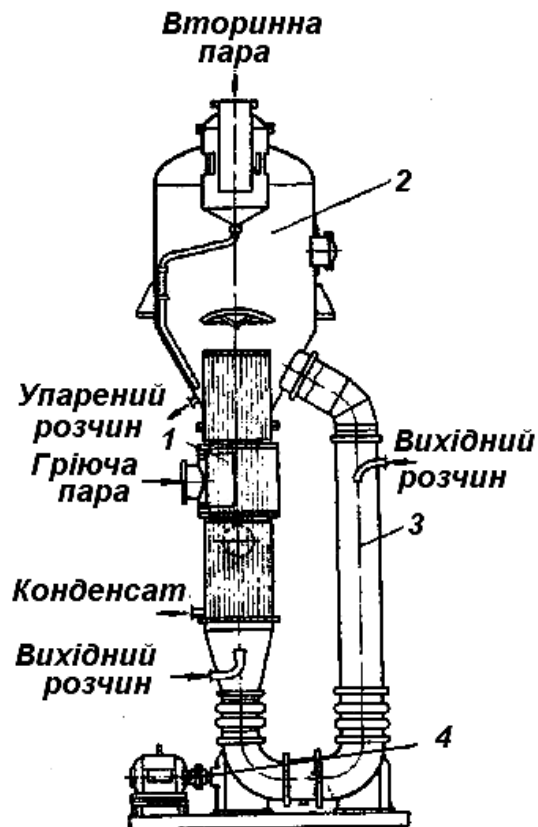
5.1. Параметричний розрахунок

Метою розрахунку є визначення площі поверхні теплообміну, а також основних розмірів (діаметр кожуха і довжина труб гріючої камери) випарного апарата з винесеною зоною кипіння для концентрування $G_{\text{п}} = 18000$ кг/год (5 кг/с) водного розчину фосфату кальція від початкової концентрації $x_{\text{п}} = 12\%$ до кінцевої $x_{\text{к}} = 40\%$.

Розрахункова схема зображена на рисунку 5.1. Вихідні дані:

Прийmemo для трубного простору індекс '1', а для міжтрубного простору індекс '2'.

Витрата нітрату амонію $G_{\text{п}}$,кг/с	5;
початкова концентрація фосфату кальція $x_{\text{п}}$, %	12;
кінцева концентрація фосфату кальція $x_{\text{к}}$, %	40;
тиск насиченої водяної пари рг.п. , МПа	0,157;
абсолютний тиск у паровому просторі випарного апарата рб.к. , МПа	0,0196;
температура розчину, який надходить до установки t_0 , °С	20;
температура розчину, що надходить до випарного апарата t_1 ,°С	60;
початкова температура охолоджуючої води t , °С	12.



1 – нагрівальна камера; 2 – сепаратор; 3 – циркуляційна труба; 4 – циркуляційний насос

Рисунок 5.1 – Розрахункова схема руху потоків у випарному апараті.

Розрахунок ведеться за методикою [22]. Матеріальний баланс. Кількість випареної води визначається за формулою:

$$W = G_{\text{п}} \cdot \left(1 - \frac{x_{\text{п}}}{x_{\text{к}}}\right) = 5 \cdot \left(1 - \frac{12}{40}\right) = 3,5 \text{ кг/с}$$

Кількість упареного розчину:

$$G_{\text{к}} = G_{\text{п}} - W = 5 - 3,5 = 1,5 \text{ кг/с}$$

Тепловий розрахунок. Визначення температури кипіння розчину.

Температура вторинної пари, що надходить з випарного апарата у барометричний конденсатор при $p=0,0196$ МПа, дорівнює $59,7$ °С. На підставі практичних рекомендацій приймаємо гідравлічну депресію $\Delta'''=1$ °С. Тоді температура вторинної пари у випарному апараті дорівнює:

$$t_{п'} = 59,7 + 1 = 60,7^{\circ}\text{C}$$

Цій температурі відповідає тиск $p_{п'}=0,0207$ МПа, теплота пароутворення $r=2355,54$ кДж/кг.

Гідростатичну депресію Δ'' визначаємо наступним чином:

Визначаємо висоту оптимального рівня розчину у кип'ятильних трубах.

Для вибору значення висоти труби H орієнтовно визначається площа поверхні теплопередачі випарного апарату $F_{ор}$. При кипінні водних розчинів солей питома навантаження для апаратів розчинів солей питома навантаження для апаратів із природною циркуляцією $q=20000 - 50000$ Вт/м². Приймаємо $q=30000$ Вт/м². Тоді:

$$F_{ор} = W \cdot \frac{r}{q_1} = 3,5 \cdot \frac{2355,54 \cdot 10^3}{30000} = 274,813 \text{ м}^2$$

За ГОСТ 11987–81 приймаємо випарний апарат із наступними характеристиками: поверхня теплообміну $F = 300$ м²; довжина труб $L = 5$ м; діаметр труб 38×2 мм; крок між трубами мм; матеріал труб – Х18Н10Т.

Орієнтовно приймаємо температуру кипіння розчину в апараті $t_{кип} \approx 80$ °С.
Отже,

$$h_{ор} = (0,26 + 0,0014 \cdot (\rho_p - \rho_v)) \cdot H = (0,26 + 0,0014 \cdot (1223 - 972)) \cdot 5 = 3,06 \text{ м}$$

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $\rho_p = 1223$ та $\rho_v = 972$ кг/м³ густина розчину та води відповідно за 80°C.

Підвищення тиску у середньому шарі розчину:

$$\Delta\rho_r = \rho_p \cdot g \cdot \frac{h_{op}}{2} = 1167 \cdot 9,81 \cdot \frac{3,06}{2} = 0,0186 \text{ Мпа}$$

Таким чином, тиск у середньому шарі кип'ятильних труб:

$$\rho_{ст} = \rho'_p + \Delta\rho_r = 0,0207 + 0,0186 = 0,039 \text{ Мпа}$$

Цьому тиску відповідає температура кипіння води $t=75,4$ °С та теплота пароутворення $r=2320$ кДж/кг

Отже, гідростатична депресія дорівнює:

$$\Delta'' = 75,4 + 60,7 = 14,7^\circ\text{C}$$

Температурна депресія визначається за формулою:

$$\Delta' = 16,2 \cdot (273 + t_k)^2 \cdot \frac{\Delta_{атм}}{r} = 16,2 \cdot (273 + 75,4)^2 \cdot \frac{9,04}{2320 \cdot 10^3} = 7,69^\circ\text{C}$$

де $\Delta_{атм} = 9,04$ °С – температурна депресія 40% розчину за атмосферного тиску.

Температура кипіння розчину:

$$t_p = 59,7 + \Delta' + \Delta'' + 1 = 59,7 + 14,7 + 7,69 + 1 = 83,09^\circ\text{C}$$

Корисна різниця температур:

$$\Delta_{кор} = 112,7 - 83,09 = 29,61^\circ\text{C}$$

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Витрата гріючої пари $G_{г.п.}$ визначаємо з рівняння теплового балансу,

$$G_{г.п.} = \frac{W \cdot i + G_k \cdot c_k \cdot t_p - G_n \cdot 60 \cdot c_p}{0,95 \cdot r_{г.п.}}$$
$$= \frac{3,5 \cdot 2607 \cdot 10^3 + 1,5 \cdot 2618,1 \cdot 83,09 - 5 \cdot 60 \cdot 3192}{0,95 \cdot 2227 \cdot 10^3} = 4,01 \text{ кг/с}$$

де $i=2607$ кДж/кг – ентальпія вторинної пари; $c_n=3192$ Дж/(кг·К) – питома теплоємність розчину;

$c_k=2618,1$ Дж/(кг·К) – питома теплоємність упареного розчину; $r_{г.п.}=2227$ кДж/кг – питома теплота пароутворення води при $p_{г.п.}=0,157$ МПа; 0,95 – коефіцієнт, який враховує 5% втрат теплоти.

Теплове навантаження гріючої камери:

$$Q = G_{г.п.} \cdot r_{г.п.} = 4,01 \cdot 2227 \cdot 10^3 = 8930,27 \cdot 10^3 \text{ Вт}$$

Розрахунок коефіцієнта теплопередачі.

Кількість труб гріючої камери визначається за формулою:

$$n = \frac{F}{\pi \cdot d \cdot L} = \frac{300}{3,14 \cdot 0,038 \cdot 5} = 502,8 = 503$$

Щільність стікання конденсату по зовнішній поверхні труб визначається за формулою:

$$\Gamma = \frac{G_{г.п.}}{n \cdot \pi \cdot d} = \frac{4,01}{503 \cdot 3,14 \cdot 0,038} = 0,0668 \text{ кг/(м} \cdot \text{с)}$$

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

					ЛН91.065342.001	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Re_{пл} = \frac{4 \cdot \Gamma}{\mu_k} = \frac{4 \cdot 0,0668}{0,251 \cdot 10^{-3}} = 1064,54$$

де $\mu=0,251 \cdot 10^{-3}$ Па·с – динамічний коефіцієнт в'язкості води за температури конденсації $t=112,7$ °С.

Приведена товщина плівки:

$$\delta_{пл} = \left(\frac{\mu_k^2}{\rho_k^2 \cdot g} \right)^{0,33} = \left(\frac{(0,251 \cdot 10^{-3})^2}{948,5^2 \cdot 9,8} \right)^{0,33} = 0,214 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Тут $\rho_k=948,5$ кг/м³ – щільність води при температурі конденсації $t=112,7$ °С.

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

$$Nu_{пл} = \frac{Re_{пл}}{\left(\frac{6,25 \cdot (Re_{пл} - 400)}{Pr^{0,33}} \right) + 1580} = \frac{1064,54}{\left(\frac{6,25 \cdot (1064,54 - 400)}{1,56^{0,33}} \right) + 1580} = 0,206$$

де $Pr=1,56$ – критерій Прандтля для води за температури $t=112,7$ °С.

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

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

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

Константи розчину за температури кипіння: $\rho=1215,6$ кг/м³; $\mu=0,782 \cdot 10^{-3}$ Па·с; $\lambda=0,4247$ Вт/(м·К); $c=2,618 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К); $\sigma=71 \cdot 10^{-3}$ Н/м.

Властивості водяної пари при $p=0,039$ МПа: $r=2292,4 \cdot 10^3$ Дж/кг; $p_n=0,38$ кг/м³.

Щільність водяної пари при $p=0,1$ МПа $\rho_0=0,579$ кг/м³. Отже,

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\alpha_2 = 780 \cdot \frac{\lambda^{1,3} \cdot \rho_k^{0,5} \cdot \rho_n^{0,06} \cdot q^{0,6}}{\sigma^{0,5} \cdot r^{0,6} \cdot \rho_0^{0,68} \cdot c^{0,3} \cdot \mu^{0,3}}$$

$$= 780$$

$$\cdot \frac{0,4247^{1,3} \cdot 1215,6^{0,5} \cdot 0,38^{0,06} \cdot q^{0,6}}{(71 \cdot 10^{-3})^{0,5} \cdot 2292400^{0,6} \cdot 0,579^{0,68} \cdot 2618^{0,3} \cdot (0,782 \cdot 10^{-3})^{0,3}}$$

$$= 5,649 \cdot q^{0,6} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

Коефіцієнт теплопередачі визначається за формулою:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{тр}}{\lambda_{тр}} + \frac{1}{r_{31}} + \frac{1}{r_{32}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{6593,9} + \frac{0,002}{16,4} + \frac{1}{5000} + \frac{1}{5800} + \frac{1}{5,649 \cdot q^{0,6}}}$$

$$= \frac{1}{\left(0,6460 \cdot 10^{-3} + \frac{0,177}{q^{0,6}}\right)} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

Де $\delta_{тр}=0,002$ м – товщина стінки труб; $\lambda_{тр}=16,4$ Вт/(м·К) – коефіцієнт теплопровідності сталі ;

$1/r_{31}=5000$ Вт/(м²·К) – теплова провідність забруднень зі сторони розчину;

$1/r_{32}=5800$ Вт/(м²·К) – теплова провідність забруднень зі сторони пари.

Питома теплове напруження

$$q = \Delta t_{пол} \cdot K = \frac{\Delta t_{пол}}{\left(0,6460 \cdot 10^{-3} + \frac{0,177}{q^{0,6}}\right)} \text{ Вт/м}^2$$

Даний вираз був роз'язаний за допомогою програми Mathcad (рисунок 5.2). Звідси встановлюємо, що значення теплового потоку становить $q = 2,436$ Вт/м².

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta t := 25.8$$

$$q := 10000$$

Given

$$q = \frac{\Delta t}{0.6460 \cdot 10^{-3} + \frac{0.177}{0.6 \cdot q}}$$

$$+ q := \text{Find}(q) = 2.436 \times 10^4$$

Рисунок 5.2 – Визначення густини теплового потоку в Mathcad
Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{q}{\Delta t_{\text{пол}}} = \frac{2,436 \cdot 10^4}{25,8} = 944,18 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Необхідна площа поверхні теплообміну:

$$F = \frac{Q}{q} = \frac{8,93027 \cdot 10^6}{2,436 \cdot 10^4} = 366,59 \text{ м}^2$$

По ГОСТ 11987–81 вибираємо номінальну поверхню теплообміну
 $F_H=400 \text{ м}^2$.

Так як розрахована площа поверхні теплообміну значно відрізняється від орієнтовно визначеної раніше величини $F_{\text{ор}}$, виконаємо повторно розрахунок по визначенню коефіцієнту K , виходячи з розрахованої площі поверхні теплообміну. У результаті розрахунку отримаємо: кількість труб гріючої камери $n=670$ шт; щільність стікання конденсату по зовнішній поверхні $\Gamma=0,05$ кг/(м·с); критерій $Nu_{\text{пл}}=0,214$; коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_1=6,850 \cdot 10^3$ Вт/(м²·К); коефіцієнт теплопередачі $K = 1/ (0,6403 \cdot 10^{-3} + 1/ (0,177 / q^{0,6}))$ Вт/(м²·К).

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Корисній різниці температур $\Delta t_{\text{пол}}=25,8$ °С відповідає питоме теплове навантаження $q=2,454 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2$.

Даний вираз був роз'язаний за допомогою програми Mathcad (рисунок 5.2). Звідси встановлюємо, що значення теплового потоку становить $q = 2,454 \text{ Вт/м}^2$.

$\Delta t := 25.8$
 $q := 10000$
Given

$$q = \frac{\Delta t}{0.6403 \cdot 10^{-3} + \frac{0.177}{0.6 \cdot q}}$$

$$q := \text{Find}(q) = 2.454 \times 10^4$$

Рисунок 5.2 – Визначення густини теплового потоку в Mathad
Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{q}{\Delta t_{\text{пол}}} = \frac{2,454 \cdot 10^4}{25,8} = 951,16 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

Необхідна площа поверхні теплообміну:

$$F = \frac{Q}{q} = \frac{8,93027 \cdot 10^6}{2,454 \cdot 10^4} = 363,9$$

По ГОСТ 11987–81 вибираємо номінальну поверхню теплообміну $F_{\text{н}}=400 \text{ м}^2$

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2 Конструктивний розрахунок

Мета конструктивного розрахунку: визначення основних геометричних розмірів апарата.

Вихідні дані:

Площа поверхні теплообміну F , м ²	400;
Загальна кількість труб n , шт	670;
Відстань між трубами T , мм	48;
Внутрішній діаметр труб $d_{\text{вн}}$, мм	34.
Схема руху потоків вказана на рисунку	5.2.

Внутрішній діаметр грійної камери при розміщенні труб по вершинам рівнобічних трикутників:

$$D_k = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,866 \cdot n \cdot 0,048^2}{\pi \cdot 0,85}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,866 \cdot 670 \cdot 0,048^2}{3,14 \cdot 0,85}} = 1,415 \text{ м}$$

Приймаємо $D_k=1,6$ м.

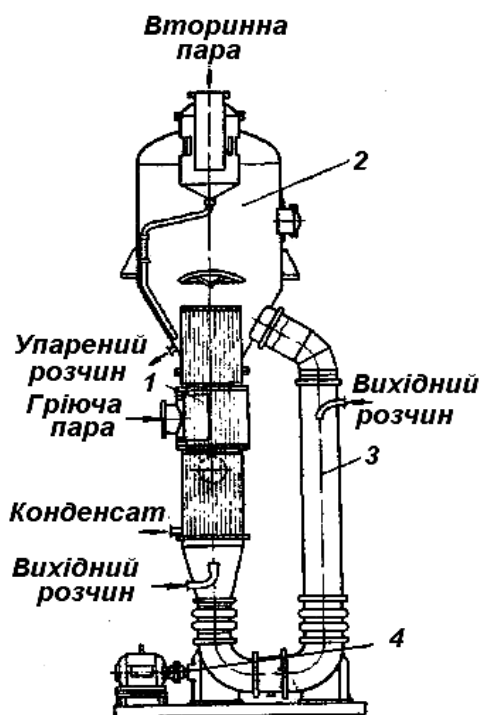


Рисунок 5.2 – Розрахункова схема руху потоків у випарному апараті.

Внутрішній діаметр циркуляційної труби розраховуємо за формулою:

$$D_{\text{ц}} = \sqrt{0,45 \cdot n \cdot d_{\text{вн}}^2} = \sqrt{0,45 \cdot 670 \cdot 0,034^2} = 0,59$$

Приймаємо $D_{\text{ц}}=0,6$ м.

Розрахунок діаметра обичайки сепаратора. Допустиме напруження парового простору:

$$W' = f_1 \cdot f_2 \cdot W'_{\text{атм}} = 0,85 \cdot 1 \cdot 1000 = 850 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{год})$$

Тут 0,85 – коефіцієнт, який залежить від тиску у апараті; 1,0 – коефіцієнт, який залежить від рівня розчину над точкою вводу паро-рідинної суміші у паровий простір; $W'_{\text{атм}}=1000 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$ – допустиме напруження парового простору при $p=0,1$ МПа для розчинів солей [22].

Об'єм сепаратора:

$$V_c = \frac{W \cdot 3600}{W'} = \frac{3,5 \cdot 3600}{850} = 14,82 \text{ м}^3$$

Допустима швидкість пари у сепараторі $w=4,4$ м/с. Діаметр обичайки сепаратора:

$$D_c = \sqrt{W \cdot \frac{v_{\text{п}}}{w \cdot 0,785}} = \sqrt{3,5 \cdot \frac{7,977}{4,4 \cdot 0,785}} = 2,843 \text{ м}$$

де $v_{\text{п}}=7,977 \text{ м}^3/\text{кг}$ – питомий об'єм пари за $p=0,0196$ МПа.

Приймаємо по $D_c=3$ м.

Уточнює швидкість пари в сепараторі:

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$w_{\pi} = \sqrt{W \cdot \frac{v_{\pi}}{D_c^2 \cdot 0.785}} = \sqrt{3,4 \cdot \frac{7,977}{3^2 \cdot 0.785}} = 1,959 \text{ м/с}$$

Критерій Рейнольдса:

$$Re = w_{\pi} \cdot d_{\kappa} \cdot \frac{\rho_{\pi}}{\mu_{\pi}} = 1,959 \cdot 0,0006 \cdot \frac{0,128}{12 \cdot 10^{-6}} = 12,53$$

де $d_{\kappa}=0,0006$ м – діаметр краплі; $\rho_{\pi}=0,128$ кг/м³ – щільність пари при $p=0,0196$ МПа;

$\mu_{\pi}=12 \cdot 10^{-6}$ Па·с – в'язкість пари при $p=0,0196$ МПа.

Так як $Re < 500$, коефіцієнт опору ξ розраховуємо за формулою:

$$\varepsilon = \frac{18,5}{Re^{0,6}} = \frac{18,5}{12,53^{0,6}} = 4,058$$

Швидкість витання краплі:

$$w_{\text{вит}} = \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot (\rho_{\text{ж}} - \rho_{\pi}) \cdot d_{\kappa}}{3 \cdot \varepsilon \cdot \rho_{\pi}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,8 \cdot (1215,6 - 0,128) \cdot 0,0006}{3 \cdot 4,058 \cdot 0,128}} = 4,283 \text{ м/с}$$

Як можемо бачити, швидкість руху пари у паровому просторі менше швидкості витання краплі.

Висота парового простору:

$$H_c = \sqrt{\frac{V_c}{D_c^2 \cdot 0.785}} = \sqrt{\frac{14,82}{3^2 \cdot 0.785}} = 1,448 \text{ м}$$

Розраховані розміри випарного апарату відповідають вимогам ГОСТ 11987–

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

81.

Діаметр вхідної труби $D_{\text{вх}}$, по якій паро-рідинна суміш надходить до гріючої камери у сепаратор визначається відношенням із співвідношення $D_c = (3,5 - 4)D_{\text{вх}}$.
Таким чином,

$$D_{\text{вх}} = \frac{D_c}{4} = \frac{3}{4} = 0,75 \text{ мм}$$

5.3. Визначення розмірів штуцерів

Метою розрахунку є вибір стандартних штуцерів за тиском і діаметром умовного проходу.

Розрахункова схема штуцера зображена на рисунку 5.2.

Вхідні дані:

Витрати водяногорозчину фосфату кальція $G_{\text{п}}$, кг/с	5
Із початковою концентрацією %	12
Кількість упареного розчину з кінцевою концентрацією %	40
$G_{\text{к}}$, кг/с	1,5
Кількість випареної води W кг/с	3,5
Витрати гріючої пари $G_{\text{г.п}}$ кг/с	4,01
Густина розчину фосфату кальція на вході в апарат ρ_1 , кг/м	1022
Густина концентрованого розчину фосфату кальція ρ_2 , кг/м ³	1215
Густина водяної пари на виході з апарата ρ_3 , кг/м ³	0,12
Густина водяної пари на вході в апарат ρ_4 , кг/м ³	86,9
Густина конденсату $\rho_{\text{к}}$, кг/м ³	938
Рекомендована швидкість рідини у штуцері $w_{\text{р}}$, м/с	2
Рекомендована швидкість пари у штуцері $w_{\text{п}}$, м/с	15

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

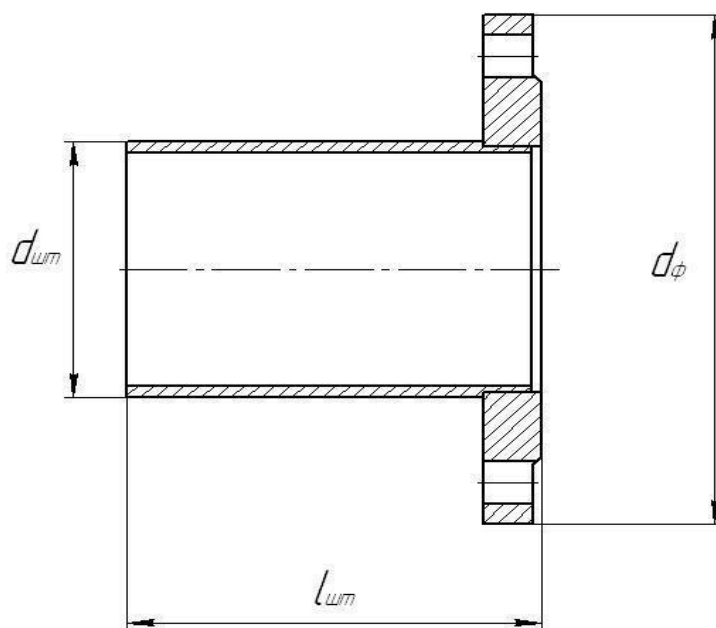


Рисунок 5.2 – Розрахункова схема штуцера

Властивості рідин та розчинів за [24]. Методику розрахунку ведемо згідно [7].

Діаметр штуцера для входу початкового розчину:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_n}{\pi \cdot \rho_1 \cdot \omega_p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5}{3,14 \cdot 1022 \cdot 2}} = 0,055 \text{ м}$$

де ω - рекомендована швидкість розчину, $\omega = 2 \text{ м/с}$;

$$\omega_1 = \frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot d_1^2 \cdot \rho_1} = \frac{4 \cdot 5}{3,14 \cdot 0,055^2 \cdot 1022} = 2,06 \text{ м/с}$$

Діаметр штуцера для виходу концентрованого розчину:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_k}{\pi \cdot \rho_2 \cdot \omega_p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,5}{3,14 \cdot 1215,6 \cdot 2}} = 0,028 \text{ м}$$

$$\omega_2 = \frac{4 \cdot G_2}{\pi \cdot d_2^2 \cdot \rho_2} = \frac{4 \cdot 1,5}{3,14 \cdot 0,028^2 \cdot 1215,6} = 0,61 \text{ м/с}$$

Діаметр штуцера для виходу вторинної пари:

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{\pi \cdot \rho_3 \cdot \omega_{\text{п}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,5}{3,14 \cdot 0,128 \cdot 15}} = 1,523 \text{ м}$$

де ω - рекомендована швидкість для пари, $\omega = 15 \text{ м/с}$;

$$\omega_3 = \frac{4 \cdot W}{\pi \cdot d_3^2 \cdot \rho_3} = \frac{4 \cdot 3,5}{3,14 \cdot d_3^2 \cdot 0,128} = 15,017 \text{ м/с}$$

Діаметр штуцера для входу пари:

$$d_4 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{г.п.}}}{\pi \cdot \rho_4 \cdot \omega_{\text{п}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,01}{3,14 \cdot 86,9 \cdot 15}} = 0,062 \text{ м}$$

де ω - рекомендована швидкість пари, $\omega = 15 \text{ м/с}$;

$$\omega_4 = \frac{4 \cdot G_{\text{г.п.}}}{\pi \cdot d_4^2 \cdot \rho_4} = \frac{4 \cdot 4,01}{3,14 \cdot d_4^2 \cdot 86,9} = 15,292 \text{ м/с}$$

Діаметр штуцера для виходу конденсату:

$$d_5 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{г.п.}}}{\pi \cdot \rho_{\text{к}} \cdot \omega_{\text{р}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,01}{3,14 \cdot 938,5 \cdot 2}} = 0,052 \text{ м}$$

де ω - рекомендована швидкість для рідини, $\omega = 2 \text{ м/с}$;

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\omega_5 = \frac{4 \cdot G_{г.п.}}{\pi \cdot d_5^2 \cdot \rho_k} = \frac{4 \cdot 4,01}{3,14 \cdot d_5^2 \cdot 938,5} = 2,012 \text{ м/с}$$

Вибрані діаметри штуцерів:

Діаметр штуцера для входу початкового розчину:

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

Діаметр штуцера для виходу концентрованого розчину:

$$d_2 = (38 - 2 \cdot 3) \cdot 10^{-3} = 0,032$$

Діаметр штуцера для виходу вторинної пари:

$$d_3 = 1,5$$

Діаметр штуцера для входу пари:

$$d_4 = (89 - 2 \cdot 4) \cdot 10^{-3} = 0,081$$

Діаметр штуцера для виходу конденсату:

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

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

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.4. Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки

Метою даного розрахунку є визначення товщини стінки циліндричної обичайки і перевірка її на міцність.

На рисунку 5.3 зображена схема розрахунку.

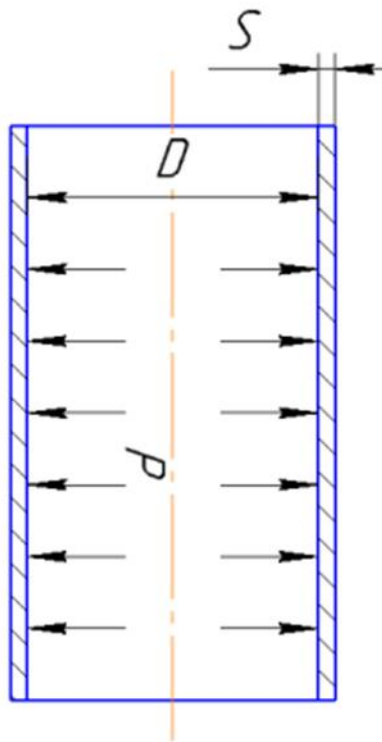


Рисунок 5.3 – Схема товщини стінки обичайки

Вихідні дані:

Тиск всередині апарата P , МПа	1,2;
внутрішній діаметр апарата D_c , м	1,6;
допустиме напруження для матеріалу обичайки (сталь 08X18H10T) $[\sigma]$, МПа	140

Методика проведення даного розрахунку складена згідно [25] та передбачає розрахунок товщини обичайки лише від дії внутрішнього тиску.

Програма розрахунку, алгоритмічна схема та таблиця ідентифікаторів наведена в додатку ____

Номінальна товщина стінки циліндричної обичайки, м:

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S' = \frac{D_c \cdot P}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P'} \quad (5.1)$$

де φ - коефіцієнт міцності зварних швів.

Виконавча товщина стінки посудини, мм:

$$S = S' + C_1 + C_2 + C_3 \quad (5.2)$$

де C_1 - прибавка на компенсацію корозії та ерозії;

C_2 - прибавка на компенсацію мінусового допуску до товщини листа;

C_3 — технологічна прибавка. Допустимий тиск в обичайці, МПа:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_0 \cdot (S - c)}{D_c + (S - c)} \quad (5.3)$$

Результати розрахунку:

$[p]=1,4$ МПа; $S'=0,0076$ м;

$S=8$ мм.

Приймаємо стандартну товщину стінки $S=10$ мм.

Перевіряємо умову міцності:

$$p \leq [p],$$

$$1,2 \text{ МПа} \leq 1,4 \text{ МПа}.$$

Висновок: Враховуючи, що умови застосування формул виконуються, а допустимий внутрішній надлишковий тиск більший за розрахунковий, то приймаємо товщину стінки $S= 0,01$ м.

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.5. Розрахунок еліптичного днища під дією внутрішнього надлишкового тиску

Метою даного розрахунку є визначення товщини кришки та перевірка виконання умови міцності.

Схема до розрахунку еліптичної кришки приведена на рисунку 5.4.

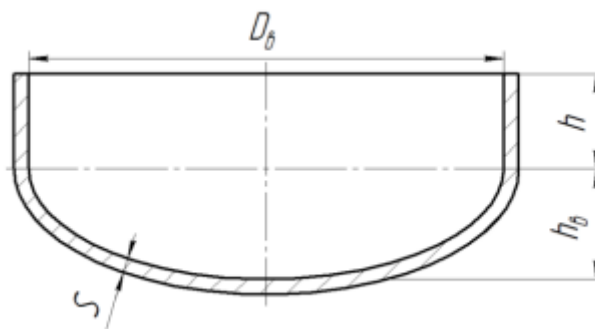


Рисунок 5.4 - Схема до розрахунку еліптичної кришки Вихідні дані:

Тиск всередині апарата P , МПа 1,2;
внутрішній діаметр апарата D_b , м 1,6;
допустиме напруження для матеріалу обичайки 140.
(сталь 08X18H10T) $[\sigma]$, МПа

Методику розрахунку ведемо згідно [27]. Товщина стінки еліптичної кришки:

$$S' = \frac{D_b \cdot P}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_{ш} - 0,5 \cdot P} \quad (5.4)$$

Виконавча товщина стінки еліптичної кришки:

$$S = S' + c \quad (5.5)$$

Вибираємо стандартну товщину еліптичного днища $S=10$.

Обчислюємо висоту еліптичної частини днища та радіус кривизни при вершині днища:

					ЛН91.065342.001	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$H = 0,25 \cdot D_B \quad (5.6)$$

Допустимий тиск в еліптичній кришці:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_{ш} \cdot (S - c)}{D_B + (S - c)} \quad (5.7)$$

Перевіряємо умову міцності:

$$p \leq [p],$$

$$1,2 \text{ МПа} \leq 1,409 \text{ МПа}.$$

Висновки: Умова виконується, міцність забезпечена.

5.6. Товщина стінки циліндричної обичайки винесеної грійної камери випарника, що працює за атмосферного тиску

Метою даного розрахунку є визначення товщини стінки циліндричної обичайки і перевірка її на міцність.

Вихідні дані:

внутрішній діаметр D , м	3;
висота секції випарної камери H , м	1,448;
розрахункова температура стінки t , °C	289
прибавка до розрахункової товщини стінки c ,	1мм
тиск у кожусі (розрахунковий) $p_{p.r.}$, МПа	0,1

Розрахунок ведеться за методикою [27].

Розрахунковий зовнішній тиск $p_{н.р.} = p_{p.r.} = 0,1 \text{ МПа}$.

Розрахункова товщина циліндричної обичайки секції $l_p \approx H$, тому що майже повністю заходиться під кожухом ($l_p = 2500 \text{ мм}$).

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Модуль пружності сталі 08Х18Н10Т при $t = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $t = 289\text{ }^{\circ}\text{C}$ $E_{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ та $E = 1,9 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ відповідно.

Допустиме напруження:

У робочому стані

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma^* = 1 \cdot 123 \text{ МПа}$$

При гідравлічному випробуванні $[\sigma]_B = \frac{\sigma_{T20}}{1,1} = \frac{240}{1,1} = 218,182 \text{ МПа}$, де $\eta = 1$, так як матеріал корпусу – листовий прокат; $\sigma^* = 123 \text{ МПа}$ – нормативно допустиме напруження для сталі 08Х18Н10Т при $t = 289\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\sigma_{T20} = 240 \text{ МПа}$ – межа текучості сталі 08Х18Н10Т при $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Коефіцієнт запасу стійкості: у робочому стані $n_p = 2,4$; при випробуванні $n_i = 1,8$.

Розрахункова та виконавча товщина стінки секції випарної камери у першому наближенні відповідно:

$$S_r = \max \left\{ \frac{K_2 \cdot D \cdot 10^{-2}}{1,1 \cdot p_{H.R} \cdot \frac{D}{(2 \cdot [\sigma])}} \right\} = \max \left\{ \frac{0,28 \cdot 3 \cdot 10^{-2} = 0,0084}{1,1 \cdot 1,2 \cdot \frac{3}{(2 \cdot 123)} = 0,01609} \right\} \\ = 16,09 \text{ мм}$$

$$S = S_r + c = 16,09 + 1 = 17,09 \approx 17 \text{ мм}$$

де $K_2 = 0,28$ – за номограмою при:

$$K_1 = \frac{n_p \cdot p_{H.R}}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot E} = \frac{2,4 \cdot 1,2}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot 1,9 \cdot 10^5} = 6,31$$

$$K_3 = \frac{l_p}{D} = \frac{2,5}{3} = 0,83$$

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{10^3 \cdot [\sigma]}{E} = \frac{10^3 \cdot 123}{1,9 \cdot 10^5} = 0,647$$

Допустимий тиск з умови міцності згідно формули: в робочому стані

$$[p_H]_{\sigma} = 2 \cdot [\sigma] \cdot \frac{(S - c)}{D + (S - c)} = 2 \cdot 123 \cdot \frac{(17 - 1) \cdot 10^{-3}}{3 + (17 - 1) \cdot 10^{-3}} = 1,3 \text{ МПа}$$

при випробуванні

$$[p_H]_{\sigma_H} = 2 \cdot [\sigma]_{\epsilon} \cdot \frac{(S - c)}{D + (S - c)} = 2 \cdot 218,182 \cdot \frac{(17 - 1) \cdot 10^{-3}}{3 + (17 - 1) \cdot 10^{-3}} = 2,314 \text{ МПа}$$

Допустиме напруження з умови стійкості в межах пружності при $l_p < l_0$

$l_p = 2500$ мм;

$$l_0 = 8,15 \cdot D \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (S - c)}} = 8,15 \cdot 3 \cdot \sqrt{\frac{3}{100 \cdot (17 - 1) \cdot 10^{-3}}} = 33,47$$

відповідності з формулою:

у робочому стані

$$\begin{aligned} [p_H]_E &= \frac{20,6 \cdot 10^6 \cdot E}{n_p} \cdot \frac{D}{l_p} \cdot \left(\frac{100 \cdot (S - c)}{D} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{100 \cdot (S - c) \cdot 10^{-3}}{D}} \\ &= \frac{20,6 \cdot 10^6 \cdot 1,9 \cdot 10^5}{2,4} \cdot \frac{3}{2,5} \cdot \left(\frac{100 \cdot (17 - 1) \cdot 10^{-3}}{3} \right)^2 \\ &\quad \cdot \sqrt{\frac{100 \cdot (17 - 1) \cdot 10^{-3}}{3}} = 0,38 \text{ МПа} \end{aligned}$$

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

при випробуванні

$$\begin{aligned}[p_H]_{EB} &= \frac{20,6 \cdot 10^6 \cdot E}{n_B} \cdot \frac{D}{l_p} \cdot \left(\frac{100 \cdot (S - c)}{D} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{100 \cdot (S - c)}{D}} \\ &= \frac{20,6 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^5}{1,8} \cdot \frac{3}{2,5} \cdot \left(\frac{100 \cdot (17 - 1) \cdot 10^{-3}}{3} \right)^2 \\ &\quad \cdot \sqrt{\frac{100 \cdot (17 - 1) \cdot 10^{-3}}{3}} = 0,4 \text{ МПа}\end{aligned}$$

Допустимий зовнішній тиск із урахуванням обох умов: у робочому стані

$$[p_H] = \frac{[p_H]_{\sigma}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p_H]_{\sigma}}{[p_H]_E} \right)^2}} = \frac{1,3}{\sqrt{1 + \left(\frac{1,3}{0,38} \right)^2}} = 0,364 \text{ МПа}$$

при випробуванні

$$[p_H]_B = \frac{[p_H]_{\sigma B}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p_H]_{\sigma B}}{[p_H]_{EB}} \right)^2}} = \frac{2,314}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,314}{0,4} \right)^2}} = 0,394 \text{ МПа}$$

Пробний тиск при гідравлічних випробуваннях

$$p_H = 1,25 \cdot p_{н.р.} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 1,2 \cdot \frac{184}{123} = 2,24 \text{ МПа}$$

$de[\sigma]_{20} = 184 \text{ МПа}$ – для сталі 08Х18Н10Т при 20 °С.

Умова стійкості циліндричної обичайки секції випарника товщиною $S=17$ мм виконується для робочого стану: $p_{н.р} < [p_H]$ та при випробуванні: $p_H < [p_H]$

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, $S = 17$ мм слід вважати виконавчою товщиною стінки.

5.7. Розрахунок фланцевого з'єднання

Метою розрахунку є вибір та перевірочний розрахунок фланців для забезпечення з'єднання корпусу апарата з розподільною камерою, а також герметичність з'єднання.

Схема фланцевого з'єднання наведена на рисунку 5.5.

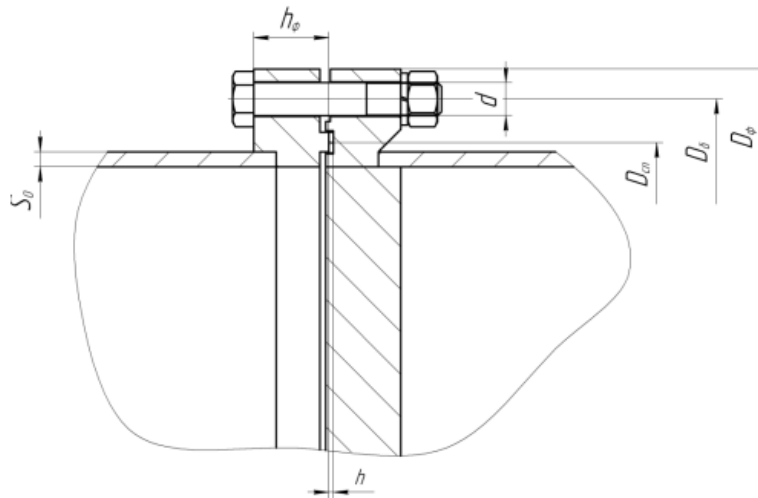


Рисунок 5.5 – Схема фланцевого з'єднання

Розрахунок проводимо згідно методики наведеної в [28], складена згідно норм за ГОСТ 26-373-78 і передбачає визначення навантажень на кріпильні деталі, обчислення напружень у кріпильних деталях і порівняння їх з допустимими, знаходження напруження в найбільш небезпечних перерізах фланців та порівняння їх з допустимими та перевірку фланців на жорсткість за умовою герметичності.

Вибір стандартних фланців здійснюємо згідно із [28].

Попередній геометричний розрахунок:

Вихідні дані:

Геометричні параметри фланця:

внутрішній діаметр, D , м	1,6;
діаметр фланця, $D_{\text{ф}}$, м	1,73;
діаметр болтового кола, $D_{\text{б}}$, м	1,690;

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

товщина фланця, $h_{\phi 1}$, м	0,06;
товщина фланця, $h_{\phi 2}$, м	0,055;
параметри прокладки	
зовнішній діаметр прокладки, $D_{\text{п}}$, м	1,646
ширина прокладки, b , м	0,0155;
товщина прокладки, h , м	0,002;
матеріал прокладки Пароніт	
ГОСТ 28759-90;	
допустиме питоме навантаження, q , МПа	130;
коефіцієнт, m	2,5;
модуль пружності матеріалу прокладки, $E_{\text{пр}}^t$, МПа	2000;
матеріал фланців 08X18H10T;	
допустиме напруження, $[\sigma]_{\phi}^{20}$, МПа	140;
допустиме напруження, $[\sigma]_{\phi}^{298}$, МПа	100;
модуль пружності, E_{ϕ}^t , МПа	$1,9 \cdot 10^5$;
коефіцієнт відносного лінійного розширення, α_{ϕ}^t , K^{-1}	$1,72 \cdot 10^{-5}$;
внутрішній тиск, $P_{\text{тр}}$, МПа	0,1;
кількість болтів, $z_{\text{б}}$	68;
діаметр різьби шпильок, $d_{\text{б}}$, м	0,022;
внутрішній діаметр, $d_{0\text{б}}$, м	0,02038;
матеріал болтів сталь 35Х	
ГОСТ 28759-90;	
мінімальне питоме навантаження, $q_{\text{б}}$, МПа	20;
допустиме напруження, $[\sigma]_{\text{б}}^{20}$, МПа	230;
допустиме напруження, $[\sigma]_{\text{б}}^{298}$, МПа	220;
модуль пружності, $E_{\text{б}}^t$, МПа	$1,75 \cdot 10^5$;
коефіцієнт відносного лінійного розширення, $\alpha_{\text{б}}^t$, K^{-1}	$1,72 \cdot 10^{-5}$.

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Враховуючи розрахований діаметр апарата та тиск в ньому вибираємо стандартний фланець згідно ГОСТ 28759-90 і знаючи його геометричні параметри, а також механічні властивості матеріалу фланців та матеріалу болтів запишемо початкові дані для перевірного розрахунку фланцевого з'єднання:

Далі опишемо результати розрахунків, що містять елементи порядку розрахунку.

Для перевірного розрахунку фланцевих з'єднань скористаємось алгоритмом запропонованим авторами [28], згідно з яким проводяться розрахунок наступних величин:

Розрахунок допоміжних величин:

Відношення більшої товщини втулки до меншої:

$$\beta = 1$$

Середній діаметр прокладки:

$$D_{\text{сп}} = D_{\text{п}} - b = 1,646 - 0,0155 = 1,63\text{м}$$

де $D_{\text{п}}$ - зовнішній діаметр прокладки, м;

b - ширина прокладки, м.

Оскільки $b = 0,015\text{м}$, то ефективна ширина прокладки:

$$b_E = 0,06 \cdot \sqrt{b} = 0,06 \cdot \sqrt{0,015} = 7,47 \cdot 10^{-3}\text{м}$$

Конструктивний коефіцієнт для фланців:

$$K_{\Phi} = \frac{D_{\Phi}}{D} = \frac{1,73}{1,6} = 1,081$$

де D_{Φ} - зовнішній діаметр фланця;

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

D - умовний внутрішній діаметр фланця.

Конструктивні коефіцієнти для фланців:

$$\alpha_{\phi 1} = \frac{h_{\phi 1}}{\sqrt{D \cdot S_0}} = \frac{0,06}{\sqrt{1,6 \cdot 0,014}} = 0,401$$

$$\alpha_{\phi 2} = \frac{h_{\phi 2}}{\sqrt{D \cdot S_0}} = \frac{0,055}{\sqrt{1,6 \cdot 0,014}} = 0,367$$

де $h_{\phi 1}, h_{\phi 2}$ - товщини фланців, м;

S_0 – товщина стінки апарата, $S_0 = 0,014$ м.

Поправкові коефіцієнти для фланців:

$$\psi_{1\phi} = 1,28 \cdot \lg K_{\phi} = 1,28 \cdot \lg 1,081 = 0,043$$

$$\psi_{2\phi} = \frac{K_{\phi} + 1}{K_{\phi} - 1} = \frac{1,081 + 1}{1,081 - 1} = 25,615$$

Геометричні параметри фланців:

$$j_{\phi 1} = \frac{h_{\phi 1}}{S_0} = \frac{0,06}{0,014} = 4,286$$

$$j_{\phi 2} = \frac{h_{\phi 2}}{S_0} = \frac{0,055}{0,014} = 3,929$$

Безрозмірні параметри фланців:

$$T_{\phi} = \frac{K_{\phi}^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg \cdot K_{\phi}) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K_{\phi}^2) \cdot (K_{\phi} - 1)} = \frac{1,081^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 1,081) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot 1,081^2) \cdot (1,081 - 1)} = 1,882$$

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\omega_{\phi 1} = \left(1 + 0,9 \cdot \alpha_{\phi 1} \cdot (1 + \psi_{1\phi} \cdot j_{\phi 1}^2)\right)^{-1}$$

$$= (1 + 0,9 \cdot 0,401 \cdot (1 + 0,043 \cdot 4,286^2))^{-1} = 0,607$$

$$\omega_{\phi 2} = \left(1 + 0,9 \cdot \alpha_{\phi 2} \cdot (1 + \psi_{2\phi} \cdot j_{\phi 2}^2)\right)^{-1}$$

$$= (1 + 0,9 \cdot 0,367 \cdot (1 + 25,615 \cdot 3,929^2))^{-1} = 7,571 \cdot 10^{-3}$$

Кутова піддатливість фланців:

$$y_{\phi 1} = \frac{(1 - \omega_{\phi 1} \cdot (1 + 0,9 \cdot \alpha_{\phi 1})) \cdot \psi_{1\phi}}{h_{\phi 1}^3 \cdot E_{\phi 1}} = \frac{(1 - 0,607 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,401)) \cdot 0,043}{0,06^3 \cdot 1,9 \cdot 10^5}$$

$$= 1,847 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{МН} \cdot \text{м}}$$

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

$$= \frac{(1 - 7,571 \cdot 10^{-3} \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,367)) \cdot 25,615}{0,055^3 \cdot 1,9 \cdot 10^5} = 0,802 \frac{1}{\text{МН} \cdot \text{м}}$$

де $h_{\phi 1}$ і $h_{\phi 2}$ - модуль поздовжньої пружності матеріалу фланців, Па.

Розрахункова довжина болтів фланцевого з'єднання:

$$L_B = h_{\phi 1} + h_{\phi 2} + h + 0,28 \cdot d_B = 0,06 + 0,055 + 0,002 + 0,28 \cdot 0,022 = 0,123 \text{ м}$$

де h - товщина прокладки, м;

d_B - зовнішній діаметр різьби болтів, м.

Лінійна піддатливість прокладки:

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$y_{\Pi} = \frac{h}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b \cdot E_{\Pi}} = \frac{0,002}{3,14 \cdot 1,63 \cdot 0,0155 \cdot 2000} = 1,259 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}}{\text{МН}}$$

де E_{Π} - модуль повздовжньої пружності матеріалу прокладки, Па.

Площа поперечного перерізу болта

$$f_{\text{Б}} = 0,785 \cdot d_0^2 = 0,785 \cdot 0,02028^2 = 3,26 \cdot 10^{-4} \text{м}^2$$

де d_0 – внутрішній діаметр різьби болтів, м.

Лінійна піддатливість болтів:

$$y_{\text{Б}} = \frac{L_{\text{Б}}}{E_{\text{Б}} \cdot f_{\text{Б}} \cdot z_{\text{Б}}} = \frac{0,12}{1,75 \cdot 10^5 \cdot 3,26 \cdot 10^{-4} \cdot 68} = 3,174 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}}{\text{МН}}$$

де $E_{\text{Б}}$ - модуль поздовжньої пружності матеріалу болтів, Па.

Параметр жорсткості фланцевого з'єднання:

$$\begin{aligned} A_{\Phi} &= (y_{\Pi} + y_{\text{Б}} + 0,25 \cdot (y_{\Phi 1} + y_{\Phi 2}) \cdot (D_{\text{Б}} - D_{\text{сп}})^2)^{-1} \\ &= (1,259 \cdot 10^{-5} + 3,174 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (1,847 \cdot 10^{-4} + 0,802) \\ &\quad \cdot (1,69 - 1,63)^2)^{-1} = 1,325 \cdot 10^3 \frac{\text{МН}}{\text{м}} \end{aligned}$$

Параметр жорсткості фланців:

$$B_{\Phi 1} = y_{\Phi 1} \cdot (D_{\text{Б}} - D - S_0) = 1,847 \cdot 10^{-4} \cdot (1,69 - 1,6 - 0,014) = 1,404 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{МН}}$$

$$B_{\Phi 2} = y_{\Phi 2} \cdot (D_{\text{Б}} - D - S_0) = 0,802 \cdot (1,69 - 1,6 - 0,014) = 0,061 \frac{1}{\text{МН}}$$

Безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання:

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\gamma = A_{\phi} \cdot y_B = 1,325 \cdot 10^3 \cdot 3,174 \cdot 10^{-5} = 0,042$$

Безрозмірний коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$\begin{aligned} \alpha_{\phi} &= A_{\phi} \cdot (y_B + 0,25 \cdot (B_{\phi 1} + B_{\phi 2})(D_B - D_{\text{сп}})) \\ &= 1,325 \cdot 10^3 \\ &\cdot (3,174 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (1,404 \cdot 10^{-5} + 0,061)(1,69 - 1,63)) = 1,244 \end{aligned}$$

Рівнодіюча внутрішнього тиску:

$$Q_g = 0,785 \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot p = 0,785 \cdot 1,63^2 \cdot 0,1 = 0,209 \text{ МН}$$

де p - внутрішній надлишковий тиск в апараті.

Реакція прокладки в робочих умовах:

$$R_{\pi} = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_E \cdot t \cdot p = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,63 \cdot 7,47 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5 \cdot 0,1 = 0,019 \text{ МН}$$

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

$$\begin{aligned} Q_{t\phi} &= \gamma \cdot E_B \cdot f_B \cdot z_B \cdot (\alpha_{\phi}^t \cdot t_{\phi} - \alpha_B^t \cdot t_B) \\ &= 0,042 \cdot 1,75 \cdot 10^5 \cdot 3,26 \cdot 10^{-4} \cdot 68 \\ &\cdot (1,72 \cdot 10^{-5} \cdot 289,046 - 1,72 \cdot 10^{-5} \cdot 280,375) = 0,024 \text{ Н} \end{aligned}$$

де α_{ϕ}^t і α_B^t - коефіцієнти відносного лінійного розширення відповідно матеріалу

фланця і болтів, 1/К; t_{ϕ} і t_B - температури відповідно фланця і болтів, К.

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

					ЛН91.065342.001	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P'_{Б1} = \pi \cdot D_{сп} \cdot b_E \cdot q = 3,14 \cdot 1,63 \cdot 7,47 \cdot 10^{-3} \cdot 20 = 0,765 \text{ МН}$$

$$P''_{Б1} = \alpha_{\phi} \cdot (Q_g + P) + R_{\pi} = 1,244 \cdot (0,209 + 0,1) + 0,021 = 0,403 \text{ МН}$$

$$P'''_{Б1} = 0,4 \cdot [\sigma_B]^{20} \cdot f_B \cdot z_B = 0,4 \cdot 230 \cdot 3,26 \cdot 10^{-4} \cdot 68 = 2,04 \text{ МН}$$

де q - мінімальний тиск на прокладку, який забезпечує герметичність з'єднання,

$$q = 20 \text{ МПа};$$

$[\sigma_B]^{20}$ - границя міцності матеріалу болтів при температурі 20°C,

$$[\sigma_B]^{20} = 230 \text{ МПа}$$

Розрахункове навантаження на болти:

Оскільки $p \leq 0,6 \text{ МПа}$, то

$$P_{Б1} = \max(P'_{Б1}; P''_{Б1}; P'''_{Б1}) = 2,04 \text{ МН}$$

Умова міцності прокладки:

$$\frac{P_{Б1}}{\pi \cdot D_{сп} \cdot b} \leq [q]$$

$$\frac{2,04}{3,14 \cdot 1,63 \cdot 0,015} = 25,69 \leq 130$$

де $[q]$ - допустиме питоме навантаження зминання прокладки, $[q] = 130 \text{ МПа}$.

Умова міцності виконується.

Болтове навантаження за робочих умов:

$$\begin{aligned} P_{Б2} &= P_{Б1} + (1 - \alpha_{\phi}) \cdot (Q_g + P) + Q_{t\phi} \\ &= 2,04 + (1 - 1,244) \cdot (0,209 + 0,1) + 0,024 = 1,989 \text{ МН} \end{aligned}$$

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункове навантаження на болти:

$$P_{БФ} = \max(P_{Б1}; P_{Б2}) = 2,04 \text{ МН}$$

$$\sigma_{Б}^{20} = \frac{P_{Б1}}{f_{Б} \cdot z_{Б}} = \frac{2,04}{3,26 \cdot 10^{-4} \cdot 68} = 92 \text{ МПа}$$

Напруження розтягання в болтах за робочих умов:

$$\sigma_{Б}^t = \frac{P_{Б2}}{f_{Б} \cdot z_{Б}} = \frac{1,989}{3,26 \cdot 10^{-4} \cdot 68} = 89,697 \text{ МПа}$$

Крутний момент, що виникає від розтягування гайок:

$$M_{скр} = f_1 \cdot \frac{P_{БФ}}{z_{Б}} \cdot d_{Б} = 0,1 \cdot \frac{2,04}{68} \cdot 0,022 = 6,559 \cdot 10^{-5} \text{ МН} \cdot \text{м}$$

де f_1 - коефіцієнт тертя, $f_1 = 0,1$.

Дотичне напруження в болтах:

$$\tau_{Б} = \frac{M_{скр}}{0,2 \cdot d_0^3} = \frac{6,559 \cdot 10^{-5}}{0,2 \cdot 0,02038^3} = 38,98 \text{ МПа}$$

Еквівалентні напруження в болтах:

$$\sigma_{БЕ}^{20} = \sqrt{(\sigma_{Б}^{20})^2 + 3 \cdot \tau_{Б}^2} = \sqrt{92^2 + 3 \cdot 38,98^2} = 114,116 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{БЕ}^t = \sqrt{(\sigma_{Б}^t)^2 + 3 \cdot \tau_{Б}^2} = \sqrt{89,697^2 + 3 \cdot 38,98^2} = 112,267 \text{ МПа}$$

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умови міцності болтів:

$$\sigma_{BE}^{20} \leq [\sigma_B]^{20}$$

$$114,116 \leq 230$$

$$\sigma_{BE}^t \leq [\sigma_B]^t$$

$$112,267 \leq 222$$

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланців за умов монтажу:

$$M_{01\Phi} = 0,5 \cdot P_{B1} \cdot (D_B - D_{сп}) = 0,5 \cdot 2,04 \cdot (1,69 - 1,63) = 0,061 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланців за робочих умов:

$$\begin{aligned} M_{02\Phi} &= 0,5 \cdot \left(P_{B2} \cdot (D_B - D_{сп}) + Q_g \cdot (D_B - D - S_0) \right) \cdot \frac{[\sigma_\Phi]^{20}}{[\sigma_\Phi]^t} \\ &= 0,5 \cdot \left(1,989 \cdot (1,69 - 1,63) + 0,209 \cdot (1,69 - 1,6 - 0,014) \right) \cdot \frac{184}{140} \\ &= 0,08 \text{ МН} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

$$\frac{[\sigma_\Phi]^{20}}{[\sigma_\Phi]^t} = \max \left(\frac{[\sigma_{\Phi 1}]^{20}}{[\sigma_{\Phi 1}]^t}; \frac{[\sigma_{\Phi 2}]^{20}}{[\sigma_{\Phi 2}]^t} \right) = \max \left(\frac{[\sigma_{\Phi 1}]^{20}}{[\sigma_{\Phi 1}]^t}; \frac{[\sigma_{\Phi 2}]^{20}}{[\sigma_{\Phi 2}]^t} \right) = \frac{184}{140}$$

$[\sigma_{\Phi 1}]^{20}$ і $[\sigma_{\Phi 2}]^{20}$ - допустимі напруження матеріалу фланців при температурі 293°К, МПа;

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$[\sigma_{\Phi 1}]^t, [\sigma_{\Phi 2}]^t$ - допустимі напруження матеріалу фланців при робочій температурі, МПа.

Розрахунковий згинаючий момент у діаметральному перерізі фланця :

$$M_{0\Phi} = \max(M_{01}; M_{02}) = 0,08$$

Максимальні напруження в перерізі S_0 фланців від дії згинаючого моменту

$M_{0\Phi}$:

$$\sigma_{0\Phi 1} = \Psi_3 \cdot \frac{T_{\Phi} \cdot M_{0\Phi} \cdot \omega_{\Phi 1}}{D \cdot (S_0 - C)^2} = 1 \cdot \frac{1,882 \cdot 0,08 \cdot 0,607}{1,6 \cdot (0,014 - 0,001)^2} = 337,801 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{0\Phi 2} = \Psi_3 \cdot \frac{T_{\Phi} \cdot M_{0\Phi} \cdot \omega_{\Phi 2}}{D \cdot (S_0 - C)^2} = 1 \cdot \frac{1,882 \cdot 0,08 \cdot 7,571 \cdot 10^{-3}}{1,6 \cdot (0,014 - 0,001)^2} = 4,216 \text{ МПа}$$

де Ψ_3 - коефіцієнт поправки для перерізу S_0 , $\Psi_3 = 1$.

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

$$\begin{aligned} \sigma_{K\Phi 1} &= \frac{M_{0\Phi} \cdot (1 - \omega_{\Phi 1} \cdot (1 + 0,9 \cdot \alpha_{\Phi 1})) \cdot \Psi_{1\Phi}}{D \cdot h_{\Phi 1}^2} \\ &= \frac{0,08 \cdot (1 - 0,607 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,401)) \cdot 0,043}{1,8 \cdot 0,06^2} = 0,105 \text{ МПа} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{K\Phi 2} &= \frac{M_{0\Phi} \cdot (1 - \omega_{\Phi 2} \cdot (1 + 0,9 \cdot \alpha_{\Phi 2})) \cdot \Psi_{2\Phi}}{D \cdot h_{\Phi 2}^2} \\ &= \frac{0,08 \cdot (1 - 7,571 \cdot 10^{-3} \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,367)) \cdot 25,615}{1,8 \cdot 0,055^2} = 419,223 \text{ МПа} \end{aligned}$$

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$\sigma_{x\Phi 1} = \sigma_{x\Phi 2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (S_0 - C)} = \frac{0,1 \cdot 1,6}{2 \cdot (0,014 - 0,001)} = 6,155 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{y\Phi 1} = \sigma_{y\Phi 2} = \frac{p \cdot D}{4 \cdot (S_0 - C)} = \frac{0,1 \cdot 1,6}{4 \cdot (0,014 - 0,001)} = 3,077 \text{ МПа}$$

Еквівалентні напруження в перерізі циліндричної втулки фланців :

$$\begin{aligned} \sigma_{E\Phi 1} &= \sqrt{(\sigma_{o\Phi 1} + \sigma_{y\Phi 1})^2 + \sigma_{x\Phi 1}^2 - (\sigma_{o\Phi 1} + \sigma_{y\Phi 1}) + \sigma_{x\Phi 1}} \\ &= \sqrt{(337,801 + 3,077)^2 + 6,155^2 - (6,031 + 3,077) + 6,155} \\ &= 337,843 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{E\Phi 2} &= \sqrt{(\sigma_{o\Phi 2} + \sigma_{y\Phi 2})^2 + \sigma_{x\Phi 2}^2 - (\sigma_{o\Phi 2} + \sigma_{y\Phi 2}) + \sigma_{x\Phi 2}} \\ &= \sqrt{(4,216 + 3,077)^2 + 6,155^2 - (6,155 + 3,077) + 6,155} = 6,796 \end{aligned}$$

Умови міцності:

$$\sigma_{E\Phi 1} \leq [\sigma_{\Phi 1}^{S_0}] * \varphi$$

$$337,843 \leq 570 * 0,9$$

$$\sigma_{E\Phi 2} \leq [\sigma_{\Phi 2}^{S_0}] * \varphi$$

$$6,796 \leq 570 * 0,9$$

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $[\sigma_{\Phi 1}^{S_0}]$, $[\sigma_{\Phi 2}^{S_0}]$ - допустимі напруження матеріалу фланця у перерізі S_0 ,

$$[\sigma_{\Phi 1}^{S_0}], [\sigma_{\Phi 2}^{S_0}] = 0,003 \cdot E_{\Phi}^t = \text{МПа}$$

φ - коефіцієнт міцності зварних швів, $\varphi = 0,9$.

Умови міцності виконуються.

Умови герметичності:

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

$$\frac{\sigma_{K\Phi 1} \cdot D}{h_{\Phi 1} \cdot E_{\Phi 1}} \leq [\theta]$$

$$\frac{0,105 \cdot 1,6}{0,06 \cdot 1,9 \cdot 10^5} = 1,478 \cdot 10^{-5} \leq 0,009$$

$$\frac{\sigma_{K\Phi 2} \cdot D}{h_{\Phi 2} \cdot E_{\Phi 2}} \leq [\theta]$$

$$\frac{419,223 \cdot 1,6}{0,055 \cdot 1,9 \cdot 10^5} = 0,0064 \leq 0,009$$

Умови герметичності виконуються.

Висновок: Приймаємо стандартні плоскі приварні у стик фланці з такими параметрами:

Внутрішній діаметр, D , м	1,6;
діаметр фланця, D_{Φ} , м	1,73;
діаметр болтового кола, $D_{\text{Б}}$, м	1,69;
товщина фланця 1, $h_{\Phi 1}$, м	0,060;
товщина фланця 2, $h_{\Phi 2}$, м	0,055;
матеріал фланця	08X18H10T.

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

5.8. Розрахунок опор випарного апарата

Метою розрахунку опор випарного апарата є вибір необхідного типу опор та перевірка умови несучої спроможності вибраних опор.

Розрахункова схема вказана на рисунку 5.6.

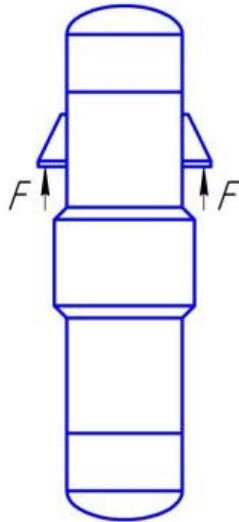


Рисунок 5.6. – Розрахункова схема опор випарного апарата.

Розрахунок виконується за методикою [29]. Розрахунковий діаметр циліндричної обичайки D_R , м:

$$D_R = D_R^K = D$$

$$D_R = 1,6$$

Умова застосування формул:

$$\frac{(S - c)}{D} = \frac{(0,01 - 0,001)}{1,6} = 0,005$$

Відстань між точкою прикладання зусилля та обичайкою або підкладним листом, e_1 , м:

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$e_1 = 5 \cdot \frac{l_1}{6} = 5 \cdot \frac{0,270}{6} = 0,225$$

Загальні мембранні напруження для опор типу А $\sigma_{m\gamma}^u$, МПа:

$$\sigma_{m\gamma}^u = \frac{p \cdot D^4}{2 \cdot (S - c)} = \frac{0,1 \cdot 1,6^4}{2 \cdot (0,01 - 0,001)} = 36,409$$

Коефіцієнт K_2 :

$$K_2 = 1,2$$

Коефіцієнт міцності зварного шва φ :

$$f = 0,065$$

$$\sqrt{D_R \cdot S} = \sqrt{1,6 \cdot 0,001} = 0,126$$

$$f \leq \sqrt{D_R \cdot S}, \quad \varphi = 1$$

Перевірка несучої спроможності вузла приварки опорної лапи доциліндричної або конічної обичайки без підкладного листа.

Загальні мембранні напруження для опори типу А у циліндричній обичайці:

$$\sigma_m = \sigma_m^o = \sigma_{m\gamma}^o, \text{ МПа}$$

Коефіцієнт, що враховує ступінь навантаження загальними напруженнями ϑ_2 :

$$\vartheta_2 = \frac{K_2}{n_T} \cdot \frac{\sigma_m}{[\sigma] \cdot \varphi} = \frac{1,2}{1,5} \cdot \frac{36,409}{123 \cdot 1} = 0,237$$

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт, що відображує відношення місцевих мембранних напружень до місцевих напружень вигину ϑ_1 :

Оскільки $\vartheta_2 \geq 0$, тому $\vartheta_1 = 0,3$.

Коефіцієнт K_1 :

оскільки $\vartheta_1 = 0$, то:

$$(K_1 > 0) = \frac{1 + 3 \cdot \vartheta_1 \cdot \vartheta_2}{3 \cdot \vartheta_1^2} \cdot \left(\pm \sqrt{\frac{9 \cdot \vartheta_1^2 \cdot (1 - \vartheta_2^2)}{(1 + 3 \cdot \vartheta_1 \cdot \vartheta_2)^2} + 1} - 1 \right)$$

$$= \frac{1 + 3 \cdot 0,3 \cdot 0,237}{3 \cdot 0,379^2} \cdot \left(\pm \sqrt{\frac{9 \cdot 0,3^2 \cdot (1 - 0,237^2)}{(1 + 3 \cdot 0,3 \cdot 0,237)^2} + 1} - 1 \right) = 1,045$$

Граничне напруження вигину обичайки у місці приварки опорної лапи $[\sigma_i]$, МПа:

$$[\sigma_i] = K_1 \cdot [\sigma] \cdot \frac{n_T}{K_2} = 1,045 \cdot 123 \cdot \frac{1,5}{1,2} = 160,745 \text{ МПа}$$

Геометричні параметри конструктивних вузлів приєднання опорних лап до обичайки u :

$$u = \ln \frac{D_R}{2 \cdot (S - c)} = \ln \frac{1,6}{2 \cdot (0,01 - 0,001)} = 4,487$$

$$y = \ln \frac{h_1}{D_R} = \ln \frac{0,5}{1,6} = -1,163$$

$$y_1 = \ln \frac{b_4}{D_R} = \ln \frac{0,390}{1,6} = -1,412$$

Коефіцієнт K_7 для типу опори А:

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\begin{aligned}
 \ln z &= (-5,964 - 11,395 \cdot u - 18,984 \cdot y - 2,413 \cdot u^2 - 7,286 \cdot u \cdot y - 2,042 \cdot y^2 \\
 &\quad + 0,1322 \cdot u^3 + 0,483 \cdot u^2 \cdot y + 0,8469 \cdot u \cdot y^2 + 1,428 \cdot y^3) \cdot 10^{-2} \\
 &= (-5,964 - 11,395 \cdot 4,487 - 18,984 \cdot (-1,163) - 2,413 \cdot 4,487^2 \\
 &\quad - 7,286 \cdot 4,487 \cdot (-1,163) - 2,042 \cdot (-1,163)^2 + 0,1322 \cdot 4,487^3 \\
 &\quad + 0,483 \cdot 4,487^2 \cdot (-1,163) + 0,8469 \cdot 4,487 \cdot (-1,163)^2 + 1,428 \\
 &\quad \cdot (-1,163)^3) \cdot 10^{-2} = -0,484
 \end{aligned}$$

$$K_T = K_T^A = z = 0,654$$

Зусилля, що діє на опорну лапу, яка приварена до циліндричної обичайки без підкладного листа, для кількості опор $n = 4$, якщо відсутні гарантії рівномірного розподілу навантажень між опорними лапами, F_1 , МН:

$$F_1 = F_{1b}^{(4)} = \frac{G}{2} + \frac{M}{D + 2 \cdot (e_1 + S)} = \frac{0,392}{2} + \frac{0}{1,6 + 2 \cdot (0,225 + 0,01)} = 0,196 \text{ МН}$$

Допустиме зусилля у вузлі приварки опорної лапи до обичайки без підкладного листа, $[F]_1$, МН:

$$[F_1] = \frac{[\sigma_i] \cdot h_1 \cdot (S - c)^2}{K_1 \cdot e_1} = \frac{135,224 \cdot 0,5 \cdot (0,01 - 0,001)^2}{1,045 \cdot 0,225} = 0,028 \text{ МН}$$

Умова несучої спроможності опорного вузла без підкладного листа:

$$F_1 < [F_1]$$

$$0,196 < 0,028$$

Умова не виконується

					ЛН91.065342.001	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірка несучої спроможності (міцності) опорного вузла з підкладним листом.

Умова застосування розрахункових формул при наявності підкладного листа:

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

$$\frac{(0,01 - 0,001)}{1,6} - 0,005 = 0,000625 \leq 0,05 - \text{умова виконується}$$

$$g \geq 0,2 * h_1$$

$$0,288 \geq 0,2 \cdot 0,005 = 0,1 - \text{умова виконується}$$

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

$$0,5 \geq 0,6 \cdot 0,65 = 0,39 - \text{умова виконується}$$

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

$$0,65 \leq 1,5 \cdot 0,5 = 0,75 - \text{умова виконується}$$

$$S_2 = 0,01 \geq S = 0,01 - \text{умова виконується}$$

Загальні мембранні напруження опор в циліндричній обичайці σ_m , МПа:

$$\sigma_m = \sigma_m^{\text{ц}} = \sigma_{m\gamma}^{\text{ц}} = 36.409 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт ϑ_2^n :

					ЛН91.065342.001	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\vartheta_2^n = \frac{K_2}{n_T} \cdot \frac{\sigma_m}{[\sigma] \cdot \varphi} = \frac{1,2}{1,5} \cdot \frac{36.409}{123 \cdot 1} = 0,237$$

Коефіцієнт ϑ_1^n :

Оскільки $\vartheta_2^n \geq 0$, тому $\vartheta_1^n = 0,4$

Коефіцієнт K_1^n :

Оскільки $\vartheta_1^n = 0$, то

$$\begin{aligned} (K_1^n > 0) &= \frac{1 + 3 \cdot \vartheta_1^n \cdot \vartheta_2^n}{3 \cdot \vartheta_1^{n2}} \cdot \left(\pm \sqrt{\frac{9 \cdot \vartheta_1^{n2} \cdot (1 - \vartheta_2^{n2})}{(1 + 3 \cdot \vartheta_1^n \cdot \vartheta_2^n)^2} + 1} - 1 \right) \\ &= \frac{1 + 3 \cdot 0,4 \cdot 0,237}{3 \cdot 0,4^2} \cdot \left(\pm \sqrt{\frac{9 \cdot 0,4^2 \cdot (1 - 0,237^2)}{(1 + 3 \cdot 0,4 \cdot 0,237)^2} + 1} - 1 \right) = 0,938 \end{aligned}$$

Граничне напруження вигину обичайки у місці приварки опорної лапи $[\sigma_i]^n$, МПа:

$$[\sigma_i^n] = K_1^n \cdot [\sigma] \cdot \frac{n_T}{K_2} = 0,938 \cdot 123 \cdot \frac{1,5}{1,2} = 144,233 \text{ МПа}$$

Геометричний параметр конструктивних вузлів приєднання опорних лап до обичайки з підкладним листом y_2 :

$$y_2 = \ln \frac{b_3}{D_R} = \ln \frac{0,650}{1,6} = -0,901$$

Коефіцієнт K_8 :

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\begin{aligned}
\ln \vartheta &= (-49,919 - 39,119 \cdot u - 107,01 \cdot y_2 - 1,694 \cdot u^2 - 11,920 \cdot u \cdot y_2 - 39,276 \\
&\quad \cdot y^2 + 0,237 \cdot u^3 + 1,608 \cdot u^2 \cdot y_2 + 2,761 \cdot u \cdot y_2^2 - 3,854 \cdot y_2^3) \cdot 10^{-2} \\
&= (-49,919 - 39,119 \cdot (-0,901) - 107,01 \cdot (-0,901) - 1,694 \\
&\quad \cdot (-0,901)^2 - 11,920 \cdot (-0,901) \cdot (-0,901) - 39,276 \cdot (-0,901)^2 \\
&\quad + 0,237 \cdot (-1,281)^3 + 1,608 \cdot (-1,281)^2 \cdot (-0,901) + 2,761 \\
&\quad \cdot (-1,281) \cdot (-0,901)^2 - 3,854 \cdot (-0,901)^3) \cdot 10^{-2} = -1,417
\end{aligned}$$

$$K_8 = \min(\vartheta; z) = \min(0,256; 0,654) = 0,256$$

Зусилля, що діє на опору лапу, яка приварена до обичайки з підкладним листом, для кількості опор $n = 4$, при наявності гарантії рівномірного розподілу навантажень між опорними лапами F_1^n , МН:

$$\begin{aligned}
F_1^n = F_{1b}^{n(4)} &= \frac{G}{4} + \frac{M}{D + 2 \cdot (e_1 + S + S_2)} = \frac{0,392}{4} + \frac{0}{1,6 + 2 \cdot (0,225 + 0,01 + 0,01)} \\
&= 0,098 \text{ МН}
\end{aligned}$$

Відношення $\frac{b_2}{b_3}$:

$$\frac{b_2}{b_3} = 0,769$$

Допустиме зусилля у вузлі приварки опорної лапи до обичайки з підкладним листом F_1^n , МН:

Оскільки $0,769 \geq 0,6$, тоді

$$[F]_1^n = \frac{[\sigma_i]^n \cdot b_3 \cdot (S - c)^2}{K_8 \cdot (e_1 + S_2)} = \frac{120,187 \cdot 0,650 \cdot (0,01 - 0,001)^2}{0,256 \cdot (0,225 + 0,01)} = 0,105 \text{ МН}$$

Умова несучої спроможності опорного вузла з підкладним листом:

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_1^n < [F]_1^n$$

$$0,098 < 0,105$$

умова несучої спроможності виконується.

5.9. Розрахунок теплової ізоляції

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

Розрахункова схема зображена на рисунку 5.7.

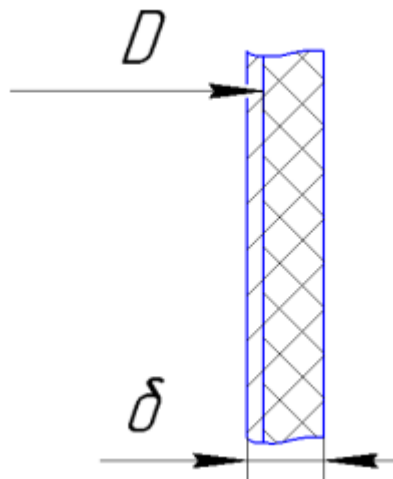


Рисунок 5.7– Схема ізоляції

Вихідні дані:

Температура навколишнього середовища t_c , °C ,	20;
температура в корпусі t_k , °C	289,046;
температура в днищі t_d , °C	274,046;
зовнішній діаметр корпусу d ,м	1,600;
матеріал ізоляції скляне штапельне волокно.	

Розрахунок ведемо за методикою [30].

Середня температура теплоізоляційного шару корпусу апарату:

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

$$t_{\text{шк}} = \frac{(t_{\text{к}} + 40)}{2} = \frac{(289,046 + 40)}{2} = 164,523^{\circ}\text{C}$$

Теплопровідність теплоізоляційного шару в конструкції:

$$\alpha_{\text{к1}} = 0,042 + 0,0028 \cdot t_{\text{шк}} = 0,042 + 0,0028 \cdot 164,523 = 0,503 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Опір теплопередачі на один метр довжини теплоізоляційної конструкції:

$$r_1 = \frac{t_{\text{к}} - t_{\text{с}}}{q_1 \cdot K_1} = \frac{289,046 - 40}{516 \cdot 1} = 0,483 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

де q_1 – нормована лінійна щільність теплового потоку з одного метра довжини циліндричної теплоізоляційної конструкції, $q_1 = 516 \text{ Вт/м}^2$,

K_1 – коефіцієнт, який враховує зміну вартості теплоти й теплоізоляційної конструкції, $K_1 = 1$.

Відношення зовнішнього діаметра ізоляційного шару до зовнішнього діаметра ізоляційного об'єкта:

$$B = \exp \left(2 \cdot \pi \cdot \alpha_{\text{к1}} \cdot \left[r_1 - r_m - \frac{1}{\alpha_e \cdot \pi \cdot (d + 0,1)} \right] \right) \\ = \exp \left(2 \cdot 3,14 \cdot 0,503 \cdot \left[0,483 - 0 - \frac{1}{12 \cdot 3,14 \cdot (1,6 + 0,1)} \right] \right) = 4,371$$

де α_e – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні теплоізоляційної конструкції до оточуючого середовища, $\alpha_e = 12 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$,

r_m – термічний лінійний опір, $r_m = 0$.

Попередньо товщина теплоізоляційного шару:

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\delta_{к1} = \frac{d}{2} \cdot (B - 1) = \frac{1,6}{2} \cdot (4,371 - 1) = 2,697\text{м}$$

Тоді товщина теплоізоляційного шару

$$\delta_k = \delta_{к1} \cdot K_c \cdot \frac{d + \delta_{к1}}{d + 2 \cdot \delta_{к1}} = 2,697 \cdot 1,6 \cdot \frac{1,6 + 2,697}{1,6 + 2 \cdot 2,697} = 2,6\text{м}$$

де K_c – коефіцієнт ущільнення ізоляції, $K_c = 1,6$.

Приймаємо товщину ізоляції $\delta_k = 2,6\text{ м}$.

Середня температура теплоізоляційного шару днища апарата:

$$t_{ш\partial} = \frac{(t_{\partial} + 40)}{2} = \frac{(274,046 + 40)}{2} = 157,023^{\circ}\text{C}$$

Теплопровідність теплоізоляційного шару в конструкції

$$\alpha_{\partial} = 0,042 + 0,0028 \cdot t_{ш\partial} = 0,042 + 0,0028 \cdot 157,023 = 0,482$$

Опір теплопередачі на один метр довжини теплоізоляційної конструкції:

$$r_2 = \frac{t_{\partial} - t_c}{q_2 \cdot K_1} = \frac{274,046 - 40}{438 \cdot 1} = 0,534 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{K}}{\text{Вт}}$$

де q_2 – нормована лінійна щільність теплового потоку з одного метра довжини циліндричної теплоізоляційної конструкції, $q_2 = 438\text{ Вт/м}$.

Термічний опір теплоізоляційної конструкції:

$$R = r_2 - \frac{1}{\alpha_e} - r_m = 0,534 - \frac{1}{12} - 0 = 0,451$$

Попередньо товщина теплоізоляційного шару:

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\delta_{\partial 1} = \alpha_{\partial} \cdot R = 0,482 \cdot 0,451 = 0,227 \text{ м}$$

Тоді товщина теплоізоляційного шару

$$\delta_{\partial} = \delta_{\partial 1} \cdot K_c \cdot \frac{d + \delta_{\partial 1}}{d + 2 \cdot \delta_{\partial 1}} = 0,227 \cdot 1,6 \cdot \frac{1,6 + 0,227}{1,6 + 2 \cdot 0,227} = 0,217 \text{ м}$$

Приймаємо товщину ізоляції $\delta_{\partial} = 0,06 \text{ м}$.

Висновок: товщини ізоляції складає для корпусу $\delta_k = 0,4 \text{ м}$ і днища $\delta_{\partial} = 0,2 \text{ м}$.

					ЛН91.065342.001	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Рекомендації щодо монтажу та експлуатації

Інформацію та рекомендації щодо монтажу взято з [31-32].

З метою уникнення проблем і непередбачених витрат у майбутньому, при монтажі, демонтажі або переміщенні промислових випарних апарат необхідно ретельно підготуватися. Це включає детальне вивчення паспорту виробу, переконання в якості його виготовлення, відсутності пошкоджень під час перевезення та зберігання. Також важливо ознайомитися з архітектурним плануванням промислової будівлі, де планується проводити монтаж або демонтаж колони, та зібрати інформацію про доступні ресурси та необхідні заходи для проведення робіт. Після цього потрібно скласти виконавчу документацію. Тільки після підписання вичерпного пакету документів можна розпочати монтаж, демонтаж або переміщення колони. Всі ці заходи допоможуть уникнути непередбачених проблем та забезпечити успішне виконання робіт з ректифікаційними колонами.

Експлуатація - це процес використання або функціонування системи або об'єкта після його монтажу. Це охоплює регулярне утримання, обслуговування, контроль і використання об'єкта для забезпечення його призначення. Експлуатація може включати перевірку роботи системи, виконання ремонтних робіт, заміну деталей, обслуговування обладнання тощо. Метою експлуатації є забезпечення безперебійної роботи системи або об'єкта протягом його життєвого циклу.

Монтаж - це процес встановлення, збирання або складання різних компонентів або частин для створення функціональної системи або об'єкта. Це може включати підключення проводки, налаштування приладів, механічне з'єднання деталей тощо. Монтаж може відбуватися в різних сферах, таких як будівництво, промисловість, електроніка, автомобілебудування і т.д. Основна мета монтажу - це забезпечити правильну роботу системи або об'єкта після його збирання.

Монтаж випарника включає кілька важливих кроків та рекомендацій для успішної установки пристрою. Ось основні кроки, які слід враховувати:

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для переміщення випарного апарату використаємо страпування.

Страпування (або стропування) відноситься до процесу безпечного підняття і переміщення вантажів за допомогою стропів або петель. Це важлива процедура, яка застосовується у різних сферах, включаючи будівництво, вантажоперевезення, промисловість та інші.

Під час страпування використовуються спеціальні стропи, які складаються з міцних матеріалів, таких як ланцюги, троси або реміні. Ці стропи надійно закріплюються навколо вантажу з метою створення оптимальної опори і розподілу навантаження, щоб запобігти пошкодженням вантажу або потенційним небезпекам.

Важливість страпування полягає в забезпеченні безпеки під час підйому і переміщення великого вантажу. Правильне страпування дозволяє розподілити навантаження рівномірно між стропами та забезпечити стійкість вантажу під час підйому. Неправильне страпування може призвести до пошкодження вантажу, втрати контролю над ним або навіть спричинити травмування працівників.

Під час страпування важливо враховувати вагу, розміри і особливості вантажу, а також дотримуватися відповідних безпекових стандартів і правил. Крім того, необхідно забезпечити належний інспекційний контроль стропів та їх правильну підготовку перед використанням.

Загалом, страпування є важливою складовою частиною процесу підняття та переміщення вантажу, і його правильна реалізація є вирішальною для забезпечення безпеки і ефективності робіт.

1. Підготовчі етапи: Перед початком монтажу важливо ознайомитися з паспортом виробу, щоб переконатися в його якості та відповідності вашим потребам. Також перевірте пристрій на пошкодження, які можуть виникнути під час транспортування. Зверніть увагу на архітектурне планування будівлі та врахуйте необхідні потужності та заходи для виконання робіт.

2. Документація: Укладіть договір із всіма сторонами та підпишіть необхідні документи перед початком монтажу, демонтажу або переміщення випарника.

					ЛН91.065342.001	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Відповідність нормам: Монтаж обладнання повинен відповідати технічним вимогам, чинним нормативним документам, правилам техніки безпеки, пожежної безпеки та охорони праці. Використовуйте робочі креслення проекту і згодуйте будь-які розбіжності з замовником та проектною організацією.

4. Збирання компонентів: Правильно складайте компоненти випарника, звертаючи увагу на положення фланцевих з'єднань та відхилення від креслень. Затягуйте гайки та болти належним чином, щоб уникнути подальших проблем.

5. Підключення до вентиляційної системи: Забезпечте правильне підключення випарника до вентиляційної системи згідно з рекомендаціями виробника. Переконайтеся, що всі з'єднання надійні.

6. Перевірка підключення: Перевірте коректність підключення електричного живлення та впевніться, що всі з'єднання правильні і безпечні.

7. Безпека та якість: Завжди дотримуйтеся правил безпеки та якості під час монтажу та демонтажу випарника. Дотримуйтеся вказівок виробника та, за необхідності, звертайтеся до професіоналів для консультацій і допомоги.

Ці кроки допоможуть вам встановити випарник правильно і забезпечити його безпеку та ефективну роботу. Завжди важливо ретельно дотримуватися вказівок виробника та звертатися до фахівців у разі потреби.

					ЛН91.065342.001	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Рівень стандартизації та уніфікації

Опрацювавши джерело [33]

Стандартизація є процесом встановлення загальноприйнятих норм, правил, специфікацій та процедур для забезпечення єдності, якості та сумісності у конкретній галузі. Вона включає розробку технічних стандартів, які описують параметри, необхідні для забезпечення сумісності та взаємодії між різними системами чи компонентами. Також стандартизація може включати уніфікацію методів вимірювання, процедур тестування, маркування та упаковки продуктів.

Метою стандартизації є визначення вимог до технічного рівня та якості продукції, сировини, матеріалів та комплектуючих виробів. Це допомагає забезпечити оптимальну якість та уникнути різноманітності варіантів типів і розмірів. Стандартизація сприяє створенню єдиної цілісної структури шляхом об'єднання різних елементів або систем. Вона спрощує виготовлення, використання та забезпечує сумісність та ефективну спільну роботу між різними компонентами, системами або групами.

Уніфікація є одним з аспектів стандартизації і передбачає створення спільних стандартів, правил або способів дії, що дозволяють різним компонентам працювати разом узгоджено та ефективно. Це може бути досягнуто шляхом порівняння різних варіантів технічних рішень, враховуючи їх переваги та недоліки, а також витрати та користь. Рівень стандартизації та уніфікації продукції може бути оцінений за допомогою коефіцієнта, який відображає відношення кількості однорідних елементів до загальної кількості. Уніфікація сприяє спрощенню та підвищує сумісність між елементами, системами та групами шляхом об'єднання їх у єдину цілісну структуру.

Таким чином, за допомогою стандартизації та уніфікації досягається єдність, якість та сумісність в галузі, сприяє оптимальній якості продукції та спрощує її виготовлення та використання.

Кількість деталей і вузлів визначається згідно зі специфікаціями. Загальна кількість деталей $N = 41$, з них стандартних $N_{\text{ст}} = 31$, уніфікованих $N_y = 9$,

					<i>ЛН91.06534.2.001</i>	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

унікальних $N_i = 1$.

Коефіцієнт стандартизації:

$$K_{\text{ст}} = \frac{N_{\text{ст}}}{N} = \frac{31}{41} = 0,76$$

Коефіцієнт уніфікації:

$$K_y = \frac{N_{\text{ст}} + N_y}{N} = \frac{31 + 9}{41} = 0,98$$

Висновки:

Розраховано коефіцієнти стандартизації та уніфікації, що відповідно дорівнюють $K_{\text{ст}} = 0,76$ та $K_y = 0,98$.

					ЛН91.065342.001	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Економічна частина проекту

Підвищення рівня конкурентоспроможності продукції вітчизняного хімічного машинобудування неможливе без впровадження нових технологій, високопродуктивного обладнання, сучасних прогресивних конструкційних матеріалів, а також без технічного переозброєння, реконструкції та будівництва нових ділянок, цехів та підприємств в цілому. Все це потребує значних грошових вливань, яких не вистачає в Україні у сучасних умовах трансформації економіки країни на засади ринкової економіки.

Виходячи з цього, кожний технічний, організаційний чи господарський проект або будь-яке нововведення мають бути ретельно обґрунтовані з економічної точки зору.

Обладнання хімічного машинобудування має надзвичайно велике значення, оскільки продукція підприємств, що використовують дані апарати та машини, є сировиною для легкої промисловості, харчової промисловості, важкого машинобудування, енергетики та багатьох інших галузей.

Метою даної роботи є розробка та модернізація випарного апарату.

8.1. Техніко – економічні обґрунтування доцільності зміни конструкції

Даний апарат має досить гарні технічні характеристики, однак можемо покращити теплообмін між гріючим середовищем і робочою речовиною випарного апарата.

Для вдосконалення використаємо покриття з теплопровідних матеріалів, таких як графен або карбід кремнію, вони мають високу теплопровідність; збільшемо площу теплообміну шляхом використання розширених поверхонь та ребристих труб; це збільшить площу контакту між гріючим середовищем і робочою речовиною і покращить ефективність теплообміну; додамо теплоносій з високою теплопровідністю, який підвищує швидкість теплопередачі в системі. Внаслідок

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

модернізації істотно підвищується теплообмін між гріючим середовищем і робочою речовиною випарного апарата апарата.

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

Таблиця 8.1 – Порівняльна характеристика базового та модернізованого апаратів.

Показник	Одиниця виміру	Апарат	
		Базовий	Спроектований
Продуктивність	кг/с	8	10
ККД	%	75-85	85-90
Термін служби	років	8	10

Модернізацію базового апарата розраховуємо у відповідності зі ступенем складності та обсягів проектно-конструкторської документації, яку необхідно розробити на етапі конструкторської підготовки, згідно з методою [33].

Модернізація діючого устаткування означає його вдосконалення з метою попередження або усунення фізичного зносу, техніко-економічного старіння та підвищення його технічних параметрів до рівня сучасних вимог. Економічно доцільно здійснювати модернізацію устаткування під час проведення його капітального ремонту. Зазвичай модернізація устаткування хімічної та нафтопереробної галузей промисловості забезпечує збільшення його продуктивність на 10-18%, а здійснені згідно з нею витрати не перевищують половини вартості нових знарядь виробництва аналогічного призначення. Розрахунки ефективності на проведення модернізації устаткування полягають у визначенні коефіцієнта ефективності витрат n_{pi} , який розраховується за формулою [26, с. 6]

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

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

S_{ci} – перевищення експлуатаційних (поточних) витрат модернізованого устаткування порівняно з новим аналогічним устаткуванням, грн.;

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

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

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

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

Сукупні витрати M_i на проведення модернізації устаткування складаються з таких окремих елементів, а саме:

- матеріальні витрати (вартість сировини, матеріалів, комплектуючих виробів та енергоносіїв, які необхідні для виконання модернізації);
- витрати на оплату праці (заробітна плата розробників конструкторської та технологічної документації; заробітна плата основних робітників, які виконують роботи по модернізації устаткування; відрахування на соціальне страхування);
- амортизація, яка нарахована на діюче устаткування, яке підлягає модернізації;
- інші види витрат.

Таблиця 8.2 - Значення коефіцієнту ефективності витрат p_i п на модернізацію устаткування [33, с.6, таблиця 2].

					ЛН91.065342.001	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

З достатньою для розрахунків точністю, яка базується на практичних даних підприємств хімічного машинобудування, величина сукупних витрат M_i модернізацію устаткування може бути розрахована по формулі [33]:

$$M_i = \Phi_{\text{перв}}^{\text{мод}} \cdot K_i = 500\,000 \cdot 0.06 = 30\,000$$

де $\Phi_{\text{перв}}^{\text{мод}}$ – первісна (відновлена) вартість устаткування, яке підлягає модернізації, $\Phi_{\text{перв}}^{\text{мод}} = 500\,000$ грн.

K_i – коефіцієнт витрат, величина якого залежить від виду і типу устаткування, яке підлягає модернізації, $K_i = 0.06$ для випарного апарату.

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

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

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

З достатнім для розрахунків ступенем точності, який базується на практичних даних підприємств хімічного машинобудування, величина

перевищення експлуатаційних (поточних) витрат по модернізованому устаткуванню порівняно з новим аналогічним устаткуванням Seіможе бути розрахована по формулі:

$$S_{ei} = q_{bi} \cdot \Phi_{\text{перв}}^{\text{мод}} - q_{bн} \cdot \Phi_{\text{перв}}^{\text{нов}} = 500\,000 \cdot 0.15 - 500\,000 \cdot 0.12 = 15000,$$

де q_{bi} – коефіцієнт експлуатаційних (поточних) витрат устаткування, яке підлягає модернізації, $q_{bi} = 0.15$;

$q_{bн}$ – коефіцієнт експлуатаційних (поточних) витрат аналогічного нового устаткування, $q_{bн} = 0.12$;

$\Phi_{\text{перв}}^{\text{нов}}$ – первісна вартість нового (аналогічного) устаткування, $\Phi_{\text{перв}}^{\text{нов}} = 500\,000$.

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

$$\alpha = \frac{P_i}{P_{\text{нов}}} = \frac{0.9}{1} = 0.9,$$

де P_i – гідравлічний опір модернізованого апарата, 0,9 Па;

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

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

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

$T_{\text{мод}}$ – час, який витрачається на з обслуговування модифікованого апарата, $T_{\text{мод}} = 2$ год;

$T_{\text{нов}}$ – час, який витрачається на обслуговування аналогічного апарата, $T_{\text{нов}} = 2$ год;

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підставляючи всі знайдені величини, необхідно отримати величину коефіцієнта ефективності витрат n_{pi} , розрахункова величина якого дає нам змогу зробити висновки щодо доцільності проведення модернізації обраного в дипломному проекті устаткування.

$$n_{pi} = 1 - \frac{250\,000 + 15\,000}{450\,000 \cdot 0.9 \cdot 1 + 200\,000} = 0.65.$$

Висновок:

розраховане значення коефіцієнта ефективності витрат $n_{pi} > 0$, а це значить, що модернізація є економічно доцільною.

					ЛН91.065342.001	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок

В дипломному проекті освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» на тему: “ Модерназація установки розкладання фосфатної сировини з розробкою випарного апарата” продуктивність за розділюваним розчином– 5 кг/с ,початквоа концентарція – 12 % , кінцева концентарція – 40 %. Проведено модернізацію випарного апарату для концентрування фосфату кальція. Модернізація полягає у підвищуванні теплообміну між гріючим середовищем і робочою речовиною випарного апарата апарата.

Обґрунтування призначення та області використання апарата здійснено за допомогою опису технологічного процесу та вибору типу апарата і його місця в технологічній схемі. Надана технічна характеристика апарата. Здійснений опис конструкцій, основних складальних одиниць та деталей випарного апарату. Виконано порівняння основних показників обраних конструкцій з аналогами шляхом проведення патентного пошуку для встановлення патентоспроможності апаратів. Виконані розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій: параметричний розрахунок, розрахунки на міцність основних вузлів та деталей апарата (визначення товщини стінки циліндричної обичайки та еліптичного днища під внутрішнім тиском, розрахунок циліндричної обичайки під зовнішнім тиском, розрахунок фланцевого з’єднання, розрахунок опор, розрахунок ізоляції). Розрахунки на міцність виконані згідно діючих державних та галузевих стандартів. Розроблені заходи, що до вимог охорони праці та подано рекомендації з монтажу та експлуатації. Проведено техніко-економічне обґрунтування доцільності модернізації розробленого апарата. Оцінено рівень стандартизації та уніфікації розробленого апарата.

Графічна частина проекту включає одне креслення формату А0 та два креслення формату А1, що містять: схему установки розкладання фосфатної сировини, складальне креслення випарного апарата та креслення грійної камери. До складального креслення складено специфікацію.

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Результати виконаних розрахунків зведені у розрахунково-пояснювальну записку, що включає дані відповідності розробленої конструкції вимогам техніки безпеки. Визначені товщини стінки циліндричної обичайки та еліптичного днища.

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Conclusion

In the diploma project of the educational and qualification level "Bachelor" on the topic: "Modernization of the installation of the decomposition of phosphate raw materials with the development of the evaporation apparatus" the productivity of the separated solution is 5 kg/s, the initial concentration is 12%, the final concentration is 40%. The evaporation apparatus for concentrating calcium phosphate was modernized. Modernization consists in increasing the heat exchange between the heating medium and the working substance of the evaporator of the device.

The justification of the purpose and area of use of the apparatus is carried out with the help of the description of the technological process and the choice of the type of the apparatus and its place in the technological scheme. The technical characteristics of the device are provided. A description of the structures, main assembly units and parts of the evaporation apparatus was carried out. A comparison of the main indicators of the selected designs with analogues was performed by conducting a patent search to establish the patentability of the devices. Calculations have been performed that confirm the workability and reliability of the structures: parametric calculation, calculations on the strength of the main units and parts of the apparatus (determination of the wall thickness of the cylindrical sleeve and the elliptical bottom under internal pressure, calculation of the cylindrical sleeve under external pressure, calculation of the flange connection, calculation of supports, insulation calculation). Strength calculations are made in accordance with current state and industry standards. Measures related to labor protection requirements have been developed and installation and operation recommendations have been submitted. A technical and economic substantiation of the feasibility of modernizing the developed apparatus was carried out. The level of standardization and unification of the developed apparatus was evaluated.

The graphic part of the project includes one drawing of A0 format and two drawings of A1 format, which contain: a scheme of the phosphate raw material decomposition installation, an assembly drawing of the evaporator and a drawing of the heating chamber. A specification has been prepared for the assembly drawing.

					<i>ЛН91.06534.2.001</i>	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

The results of the performed calculations are summarized in a calculation and explanatory note, which includes data on the compliance of the developed design with the requirements of safety technology. The wall thicknesses of the cylindrical shell and the elliptical bottom are determined.

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік посилань

1. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%81%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BD%D1%96_%D0%B4%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B8%D0%B2%D0%B0
2. Юкельсон И.И. Технология основного органического синтеза М.: Химия, 1968. — 848 с.
3. <https://www.bookdepository.com/Handbook-Nanomaterials-Nanocomposites-for-Energy-Environmental-Applications-Oxana-Vasilievna-Kharissova/9783030362676>
4. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/106899/Chapagain_PhosphorusRecycling.pdf?sequence=1
5. Кутепов А. М., Бондарева Т. И., Беренгартен М. Г. “Общая химическая технология”, Москва “Высшая школа” 1990 р., с. 452.
6. Тимонин А. С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования. Том 2. м Калуга, 2002г.
7. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию/ Г.С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский и др.. Под ред. Ю. И. Дытнерского, 2-е изд., перераб. и дополн. М.: Химия, 1991 – 496 с.
8. Лащинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры - Л.: Машиностроение, 1981. – 752 с
9. Патент US2022341636A1 Liquid blocking device and evaporator thereof
10. Патент US2022203260A1 Containment device for a rotary evaporator
11. Патент US11629109B2 Extractive distillation column system and the use thereof in the separation of butenes from C4-hydrocarbon streams
12. Патент CN218589717U Vacuum type continuous evaporative crystallization device

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. Патент US2022163432A1 Process and device for vaporizing purge liquid from a cryogenic liquid vaporizer
14. Закон України № 1213-IX від 04.02.2021.
15. ПУЕ 2017. Правила улаштування електроустановок. [Чинний від 2017-07-21]. Вид офіційне. Київ: Міненерговугілля України, 2017. 617 с.
16. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення.
17. [Чинний від 2019-03-01]. Вид офіційне. Київ: Мінрегіон України, 2018. 137 с.
18. ДСН 3.3.6.037–99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку
19. Основи охорони праці: Підручник. 21ше видання, доповнене та перероблене. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно, О. І. Полукаров, В. С. Коз'яков, Л. О. Мітюк. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. — К.: Основа, 2006 — 448 с.
20. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорії приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою. [Чинний від 2017-01-01]. Вид офіційне. Київ Мінрегіонбуд України, 2016
21. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Чинний від 1999-01-01]. Вид офіційне. Київ: МОЗ України, 1999. 10 с.
22. Йоффе И. Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии: Учебник для техникумов. – Л.: Химия, 1991. – 352 с., ил.
23. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химических технологий. Учебное пособие для вузов/Под П. Г. Романкова.– Л.: Химия, 1987. – 576 с., ил.
24. Выпарные установки. Чернобыльский И. И. «Вища школа», 1970, 244 с.
25. ГОСТ 14249 – 89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.
26. Тимонин А. С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования. Том 1. м Калуга, 2002г.

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

27. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи: Учеб. Пособие для студентов втузов/М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко, В. В. Зобнин; Под общ. Ред.. М. Ф. Михалева. Л.: Машиностроение, Ленингр. Отд-ние, 1984 – 301 с., ил.
28. Конструювання фланцевих з'єднання сталених посудин та апаратів Навч. посібник / І. О. Мікульонок. – К.: ІСДО, 1997. – 151 с.
29. Конструювання опорних вузлів хімічних апаратів і перевірка несучої спроможності обичайок на дію опорних навантажень: Навч. посібник / В. Г. Доброногов, І. О. Мікульонок. – К.: ІСДО, 1995. – 184 с.
30. Мікульонок І. О. Проектування теплової ізоляції обладнання хімічних виробництв : навч. посібник / І.О. Мікульонок. - К.: Наук. думка, 1999. - 152 с.
31. Технологическая инструкция на монтаж выпарного аппарата, 1958.
32. Проект ТУ на монтаж теплообменных и выпарных аппаратов, кубов и кристаллизаторов (2-я редакция). Госхимпроект, 1960.
33. Задольський А.М., Шаповаленко О.О. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломних проектів бакалаврів (для студентів інженерно – хімічного факультету). Навчальне видання. – К.: НТУУ «КПІ». 2010. – 15с.
34. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» для студентів, що навчаються за напрямом підготовки 6.050503 Машинобудування спеціальність “Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів” : [Електронний ресурс]: / НТУУ „КПІ”; уклад. Степанюк А.Р., Гатілов К.О. – Київ: НТУУ „КПІ”, 2011. – 64 с.
35. Задольський А.М., Шаповаленко О.О. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломних проектів бакалаврів (для студентів інженерно – хімічного факультету). Навчальне видання. – К.: НТУУ «КПІ». 2010. – 15с.

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А
Документація патентного дослідження

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ № ЛН51.1.РП

Найменування теми Парогенератор шифр теми ЛН01.065343.000 Етап Проектування апарата та його основних частин

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень ЛН91.15.04.2023

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

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

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

Ретроспективність. Термін дії патенту на винахід в Україні – 20 років, на корисну модель - 6 років, тому регламент пошуку встановлюємо такий: 1999-2019 роки.

Класифікаційні індекси. Міжнародна патентна класифікація: B01D 1/00, B01D 1/06, B01F 7/00, F01K 9/00, F25B 1/00, F25B 39/00, F28D 1/04, F28D 7/00, F28F 9/24.

Уніфікована десяткова класифікація УДК 661.525.3.

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

Початок пошуку 15.04.2023 Закінчення пошуку 19.05.2023

					ЛН91.065342.001	Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Довідка про пошук № ЛН91.1.ДП

Завдання на проведення патентних досліджень ЛН91.065343.000 15.04.2023
(номер, дата)

Етап Проектування апарата та його складових частин.

Номер, дата регламенту пошуку ЛН91.1.РП, 19.05.2023.

Початок пошуку 15.04.2023 Закінчення пошуку 19.05.2023

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

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Мета пошуку інформації	Держава пошуку	Класифікаційні індекси МПК, НПК, МКПЗ, МКТП, УДК	Ретроспективність пошуку	Джерела інформації
Випарний апарат	Визначення патентноздатності проєктованого апарата й тенденцій розвитку цього напрямку в техніці	Усі країни	B01D1/30; F25B39/02; F25B43/00;	2022 - 2023 рр.	Інформаційна БД винаходів та корисних моделей України та світу

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

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

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Держава пошук у	Класифікаційні індекси	Інформаційна база, використана під час пошуку	Бібліографічні данні першого та останнього за хронологією джерела інформації	
				Патентна інформація	Інше
Випарний апарат	Україна, світ	B01D1/305 (EP,US); F25B39/02 (EP,CN,US) ; F25B43/00 (CN,US); F28D21/001 7 (EP); F28F9/005 (EP);	Інформаційна БД винаходів та корисних моделей України та світу	US2022341636A1 US2022203260A1 US11629109B2 CN218589717U US2022163432A1	—

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

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

ОГД, його складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	Бібліографічні дані	Відомості щодо їхньої дії
Liquid blocking device and evaporator thereof	Patent US2022341636A1, Pub. date 2022.10.27	Діє
Containment device for a rotary evaporator	Patent US2022203260A1, Pub. date 2022.06.30	Діє
Extractive distillation column system and the use thereof in the separation of butenes from C4-hydrocarbon streams	Patent US11629109B2, Pub. date 2023.04.18	Діє
Vacuum type continuous evaporative crystallization device	Patent CN218589717U, Pub. date 2022.11.28	Діє
Process and device for vaporizing purge liquid from a cryogenic liquid vaporizer	Patent US2022163432A1, Pub. date 2022.05.26	Діє

Додаток Б
Комп'ютерний розрахунок

					ЛН91.065342.001	Арк.
						106
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток Б. Програма розрахунку товщини стінки під дією внутрішнього надлишкового тиску.

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

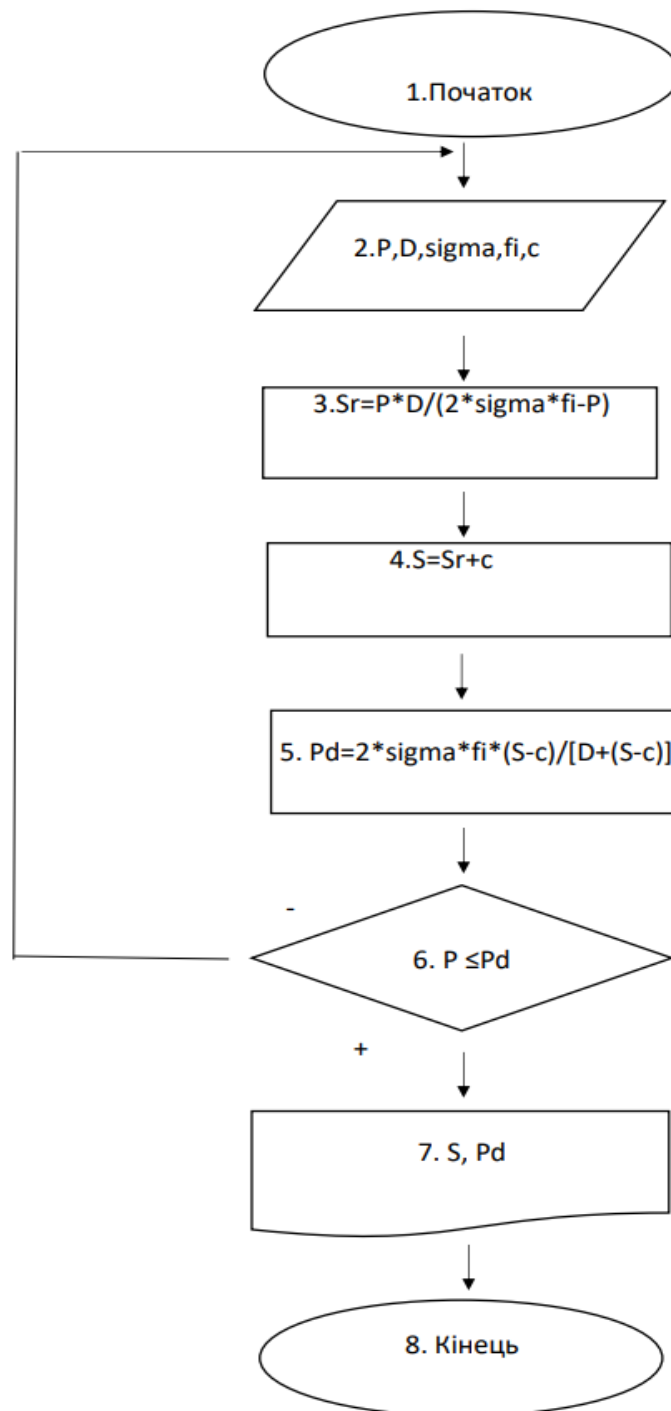


Рисунок Б.1 – Блок – схема розрахунку товщини стінки під дією внутрішнього надлишкового тиску.

Таблиця Б.2 – Таблиця ідентифікаторів

Найменування	Ідентифікатор	Розмірність
Розрахунковий тиск	Pp	МПа
Внутрішній діаметр	D	м
Допустиме напруження	Sigmatop	МПа
Прибавка на корозію	C	м
Технологічна прибавка	C1	м
Розрахункова товщина	Sr	м
Прийнята товщина	S	м
Допустимий тиск	pdop	МПа
Коефіцієнт зварного шва	fi	-
Висота еліптичної частини	H	м
Швидкість корозії	Vk	

Б.3 Програма розрахунку стінки

Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки

$$P := 1.2 \quad [\sigma] := 140 \quad \varphi := 0.9 \quad D := 1.6$$

$$S_{ш} := \frac{D \cdot P}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P} = 7.656 \times 10^{-3}$$

$$c1 := 0.5 \quad c2 := 0.5 \quad c3 := 0 \quad C_w := 1$$

$$S_{с} := S_{ш} + c1 + c2 + c3 = 1.008 \quad S_{с} := 10$$

$$P_{доп} := \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (S - C) \cdot 10^{-3}}{D + (S - C) \cdot 10^{-3}} = 1.41$$

$$1.2 < 1.41$$

Розрахунок еліптичного днища під дією внутрішнього надлишкового тиску

$$P := 1.2 \quad [\sigma] := 140 \quad c_s := 0.5 \quad \varphi := 0.9 \quad D := 1.6$$

$$S_{ш} := \frac{D \cdot P}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0.5 \cdot P} = 7.637 \times 10^{-3}$$

$$C_w := 1$$

$$S_{с} := S_{ш} + C = 1.008 \quad S_{с} := 10$$

$$H := 0.25 \cdot D = 0.4$$

$$P_{доп} := \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (S - C) \cdot 10^{-3}}{D + (S - C) \cdot 10^{-3}} = 1.41 \quad 1.2 < 1.41 \quad +$$

Додаток В
Публікації автора

					ЛН91.065342.001	Арк.
						109
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

УДК 661.9

**MODERNIZATION OF THE PHOSPHATE MATERIAL
DECOMPOSITION PLANT WITH DESIGN OF EVAPORATOR**

Student Nesteruk O.M., associate professor, Ph.D. Hulienko S.V., senior lecturer

Ph.D., Sajor R. V.

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

***Abstract:** The scheme of the process of nitric-sulfuric acid decomposition of phosphate raw materials with pre-precipitation of calcium ions by ammonium sulfate is described*

***Key words:** sulfate recycle, phosphate raw materials, pulp, phosphogypsum*

**МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ РОЗКЛАДАННЯ ФОСФАТНОЇ
СИРОВИНИ З РОЗРОБКОЮ ВИПАРНОГО АПАРАТА.**

Студент Нестерук. О. М., доц., к.т.н. Гулієнко С.В.,

ст. викл., к.т.н. Сачок Р.В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

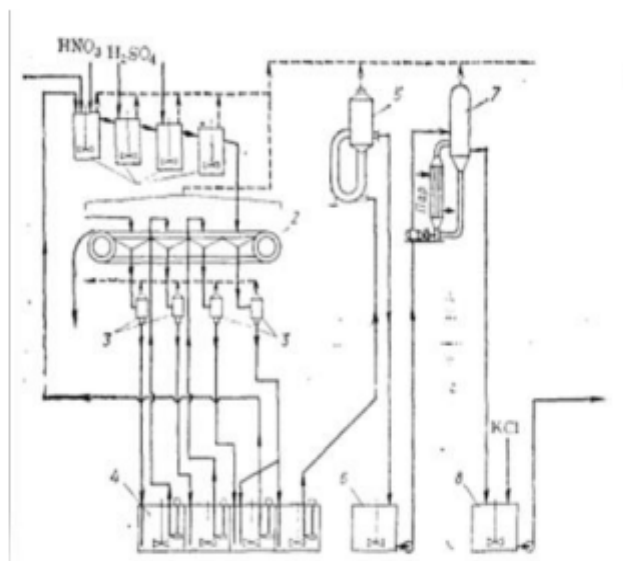
***Анотація:** Описується схема процесу азотно-сірчанокислотного розкладання фосфатної сировини з доосадженням іонів кальцію сульфатом амонію*

***Ключові слова:** сульфатний рецикл, фосфатна сировина, пульпа, фосфогіпс*

The phosphate fertilizers are the kind of the mineral fertilizers which include the phosphor, required for growing of plants. The phosphate from soil, primarily calcium phosphate is the main source of phosphor which is metabolized in a form of orthophosphate acid. Moreover, the plants are able to metabolize phosphor from several organic compounds such as phytinum, glicero-phosphate, glicero-phosphate

acid, glucose phosphate etc. But for the most soils the consistence of calcium phosphate is insufficient. Moreover, due to the insolubility in water it is practically unavailable for plants. Moreover, the soil microorganisms are continuously mineralizing the organic compounds with available phosphor for the plants in unavailable inorganic form. Therefore, the introduction in soil soluble phosphates has significant importance for increasing of the harvest of crops. Phosphor promote the development of the root system of plants, increase the sugars content, because of what the winter resistance, yielding capacity is increased, the ripening is accelerated, organoleptic properties are improved. The plants react to the top dressing by phosphate fertilizers in following way. In sugar beets the sugar content is increased, in potato the content of starch is increased, in corn the oil content is increased.

The production of the phosphate fertilizers requires large amounts of chemicals. To achieve the economy of the sulphate and nitrate, except increasing of the water-soluble part of P_2O_5 in fertilizers, allows reusing of ammonium sulphate for extra precipitation of calcium ions in nitrate acid extract. The ratio among acids and ammonium sulphate, which are used in process, are chosen depending on the raw material composition and obtained fertilizer type. For the obtaining of product with ratio 1:1:1 from the apatite concentrate it is necessary 60% of phosphate acid to decompose by nitrate acid, 40% sulphate acid, and 60% of calcium ions to extra-precipitation by ammonium sulphate. During the phosphorite treatment with high ratio $CaO:P_2O_5$ the components ratio is changed in direction of increasing of sulfonate acid requirement for the impurities decomposition and corresponding decreasing of nitrate acid and ammonium sulphate requirements. When in fertilizer the P_2O_5 content higher than nitrogen content, the sulfate acid requirement for the obtaining fertilizers with ratio $N:P_2O_5:K_2O$ 1:1:1 also should be increased. If it is necessary to obtain fertilizer in which the ratio $N:P_2O_5$ is varied in the range (1.5-2):1, there is no sulfuric acid should not be introduced into the process and all calcium should be precipitated by the sulphate ammonium. The scheme of this process is represented in figure 1.



1-reactor, 2-belt vacuum filter, 3 – separator, 4- collector filter, 5, 6, 8 - collectors;
7-vacuum evaporation apparatus

Figure. 1. – Scheme of the process of nitric-sulfuric acid decomposition of phosphate raw materials with pre-precipitation of calcium ions by ammonium sulfate

Ammonium sulfate is fed into the third section for additional calcium deposition, and the phosphogypsum sediment matures in the fourth. The total residence time of the pulp in the reactor is 4.5 hours. temperature 55°C. From the fourth section, the pulp enters the vacuum filter 2 to separate calcium sulfate dihydrate sediment. Filtration of $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ is carried out according to the four-filter scheme with three times countercurrent washing of the sediment. The second filtrate and part of the first filtrate are returned as a reversible solution to reactor 1 to create an optimal ratio of solid and liquid phases ($W:T=3$). The rest of the first filtrate enters for ammonization in a high-speed ammonizer - evaporation 5. The ammonization process is carried out to pH 4.5 at a temperature of 110-120°C. Next, the ammoniated pulp enters the evaporator 7, where it evaporates to a H_2O -15% content. The evaporated pulp at 135 ° is mixed in the mixing tank 8 with potassium chloride and sent for granulation and drying in the BGS apparatus. Next, the

granulated product is classified and cooled. Phosphogypsum from the vacuum filter is converted into calcium carbonate and ammonium sulfate. Calcium carbonate is removed, and ammonium sulfate is returned to the calcium precipitation reactor. Thus, the process of obtaining nitrophoska takes place with sulfate recycling. Using this process, it is possible to obtain fertilizers of various brands with good physical and mechanical properties even when working with low-quality raw materials: phosphorites containing 24-26% P_2O_5 and 3.0-3.8% MgO ; calcined phosphorites containing up to 6% Fe_2O_3 . Phosphorite processing produces a product that contains 92% of the total amount of P_2O_5 in a water-soluble form. The scheme, based on the use of nitric and sulfuric acids with the recycling of ammonium sulfate, allows to obtain the maximum saving of sulfuric acid.

Analyzing modern designs, materials and methods of decomposition of phosphate raw materials and sulfate recycling, this evaporator has plays role in technological scheme, so it is reasonable to modernize this apparatus.

References:

1. Юкельсон И.И. Технология основного органического синтеза М.: Химия, 1968. — 848 с.
2. <https://www.bookdepository.com/Handbook-Nanomaterials-Nanocomposites-for-Energy-Environmental-Applications-Oxana-Vasilievna-Kharissova/9783030362676>
3. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/106899/Chapagain_PhosphorusRecycling.pdf?sequence=1

УДК 661.9

**MODERNIZATION OF THE PHOSPHATE MATERIAL
DECOMPOSITION PLANT WITH DESIGN OF EVAPORATOR**

Student Nesteruk O.M., associate professor, Ph.D. Huliienko S.V., senior lecturer
Ph.D., Sacjor R. V.

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

***Abstract:** The process of comparison and selection of evaporator for decomposition of phosphate raw materials is described*

***Key words:** phosphate substance, evaporator, heating chamber*

**МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ РОЗКЛАДАННЯ ФОСФАТНОЇ
СИРОВИНИ З РОЗРОБКОЮ ВИПАРНОГО АПАРАТА.**

Студент Нестерук. О. М., доц., к.т.н. Гулієнко С.В.,
ст. викл., к.т.н. Сачок Р.В.

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

***Анотація:** Описується процес порівняння та вибору випарного апарату для розкладання фосфатної сировини*

***Ключові слова:** фосфатна речовина, випарний апарат, гріюча камера*

Фосфатні добрива — різновид мінеральних добрив, що містять у собі необхідний для розвитку рослин фосфор. Але для більшості типів ґрунтів фосфату кальцію недостатньо. Крім того, у зв'язку з нерозчинністю у воді він практично недоступний для рослин. Крім того, ґрунтові мікроорганізми постійно мінералізують органічні сполуки з доступним для рослин фосфором у недоступну форму неорганічних. Тому внесення в ґрунт розчинних фосфатів, так званих фосфорних добрив, має надзвичайно велике значення для підвищення врожаю сільськогосподарських культур. В технологічній схемі

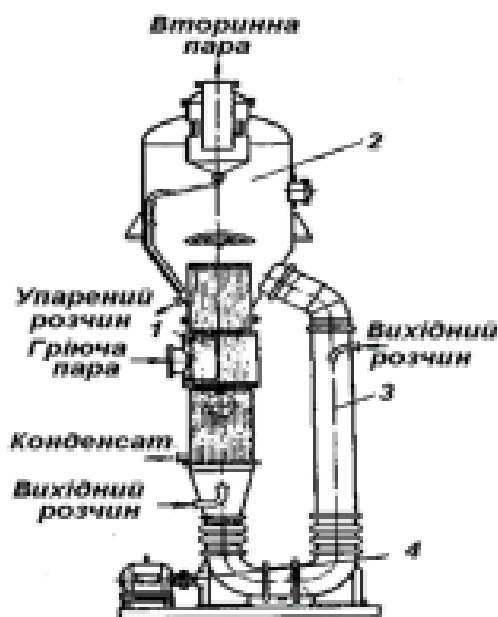
потрібний випарний апарат для концентрування розчинів, що киплять при високій температурі, з метою економії енергоносіїв та зменшення часу проведення технологічного процесу; розчинів термолабільних речовин. Може бути використано декілька типів випарних апаратів. Після ретельного аналізу різних типів випарних апаратів за допомогою нашої моделі, було проведено оцінку основних вимог до конструкції та вибору випарника. Вибрані вимоги включають велику площу поверхні теплообміну, високий коефіцієнт тепловіддачі, ефективну циркуляцію, надійність, герметичність, легке очищення поверхні теплообміну та стандартизацію вузлів і деталей.

Після детального порівняння різних варіантів випарників, зроблено висновок, що найбільш відповідають нашим вимогам випарники з природньою циркуляцією та розширеною зоною кипіння. Вони мають просту конструкцію, що сприяє легкості очищення та обслуговуванню. Однак, слід врахувати, що ці типи випарників можуть вимагати значних енерговитрат на обігрів циркуляційної труби, а також інтенсивність циркуляції обмежена. Крім того, він характеризується високою інтенсивністю циркуляції, що сприяє ефективному випаровуванню.

Після всебічного аналізу, ми прийшли до висновку, що випарники з вимушеною циркуляцією та розширеною зоною кипіння найбільше відповідають нашим основним вимогам . Проте, перед прийняттям остаточного рішення, варто врахувати всі фактори, зокрема особливості проекту або застосування випарника.

Для даного процесу найкраще підходить ось цей апарат

Схема показана на рисунку 1.



1 – нагрівальна камера; 2 – сепаратор; 3 – циркуляційна труба; 4 – циркуляційний насос

Рисунок 1 – Схема випарного апарата

Процес примусової циркуляції в системі передбачає подачу вихідного розчину до циркуляційної труби номер 3, який забезпечується спеціальним циркуляційним насосом номер 4.

У разі, коли швидкість руху випаровуваного розчину є високою, відбувається його кипіння на короткому відрізку перед виходом з кип'ятильних труб. Це призводить до переміщення зони кипіння до верхньої частини нагрівальної камери. Значна частина довжини труби має рідину, яка перебуває у стані незначного перегріву, оскільки тиск у нижній частині труби вищий за тиск у верхній частині, через гідростатичний тиск стовпа рідини та гідравлічний опір труби. У кип'ятильних трубах розчин має високий рівень, що призводить до заповнення значної частини циркуляційного контуру рідиною. Паровміст у суміші рідини і вторинної пари є незначним. Для забезпечення ефективної циркуляції необхідно використовувати циркуляційний насос, який може перекачувати великий об'єм рідини з

помірною споживаною електроенергією. Основна енергія витрачається на подолання гідравлічного опору труби. Часто для цих цілей використовуються пропелерні насоси, які забезпечують оптимальну швидкість циркуляції, враховуючи техніко-економічні розрахунки.

References:

1. https://uk.wikipedia.org/wiki/Фосфатні_руди
2. <https://studfile.net/preview/5465346/page:14/>
3. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/106899/Chapagain_PhosphorusRecycling.pdf?sequence=1

Додаток Г
Патенти, які використовувались в патентному дослідженні

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						118
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



US 20220341636A1

(19) **United States**(12) **Patent Application Publication****Xiang et al.**(10) Pub. No.: **US 2022/0341636 A1**(43) Pub. Date: **Oct. 27, 2022**(54) **LIQUID BLOCKING DEVICE AND
EVAPORATOR THEREOF****Publication Classification**(51) **Int. Cl.***F25B 39/02* (2006.01)*F25B 43/00* (2006.01)*B01D 1/30* (2006.01)(52) **U.S. Cl.**CPC *F25B 39/02* (2013.01); *F25B 43/00*(2013.01); *B01D 1/305* (2013.01); *F25B**3339024* (2013.01); *F25D 11/0017* (2013.01)(71) Applicant: **Carrier Corporation, Palm Beach
Gardens, FL (US)**(72) Inventors: **Liang Xiang, Shanghai (CN); Xu
WANG, Shanghai (CN)**(21) Appl. No.: **17763,433**(22) PCT Filed: **Sep. 24, 2020**(86) PCT No.: **PCT/US2020/052166**

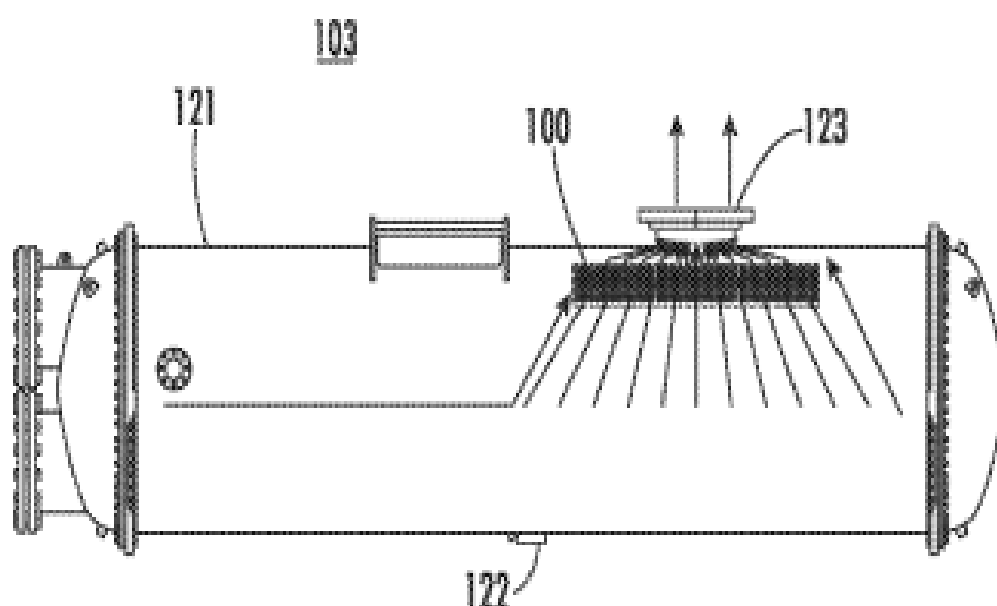
§ 371 (c)(1),

(2) Date: **Mar. 24, 2022**(30) **Foreign Application Priority Data**

Sep. 27, 2019 (CN) 201910923069.4

(57) **ABSTRACT**

The present application discloses an evaporator and a liquid blocking device thereof. The liquid blocking device includes: a body, which has a plate-shaped first separator extending in a longitudinal direction, the first separator having a plurality of holes, and the plurality of holes communicating an exterior of the body with an interior of the body; and a second separator attached to the body, the second separator being configured to have a plurality of openings which abut each other, so that a pressure drop generated when a fluid passes through the second separator via the openings is less than a pressure drop generated when the fluid passes through the first separator. The present application can improve the effect of gas-liquid separation.



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛН91.065342.001

Арк.

119

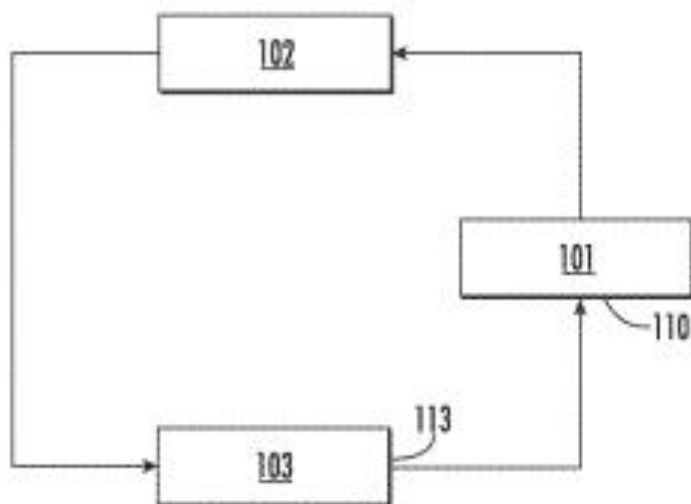


FIG. 1

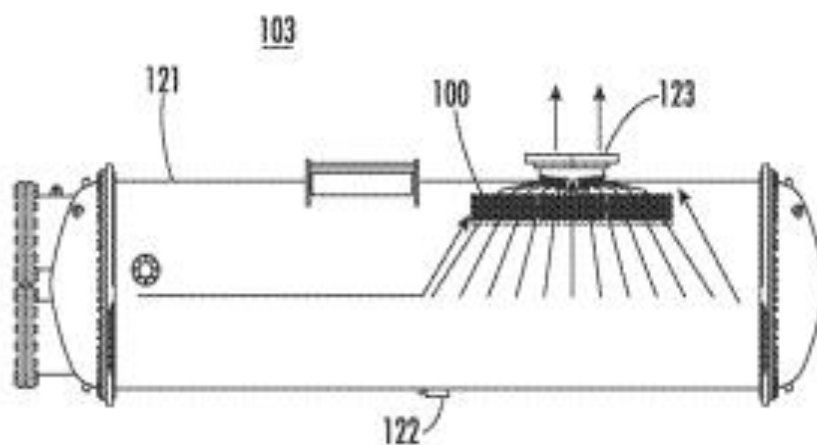


FIG. 2



US 20220203260A1

(19) **United States**(12) **Patent Application Publication****Gandar et al.**(10) **Pub. No.: US 2022/0203260 A1**(43) **Pub. Date: Jun. 30, 2022**(54) **CONTAINMENT DEVICE FOR A ROTARY EVAPORATOR**(71) Applicant: **LES LABORATOIRES SERVIER**,
Suresnes Cedex (FR)(72) Inventors: **Jean-Baptiste Gandar**, Fontaine La
Mallet (FR); **Christophe Besseyre**,
Gouffreville Caillot (FR); **Bruno Aubry**,
Saint-Pierre-des-Fleurs (FR); **Samuel
Lapert**, Rocqufort (FR)(73) Assignee: **LES LABORATOIRES SERVIER**,
Suresnes Cedex (FR)(21) Appl. No.: **17/429,600**(22) PCT Filed: **Feb. 4, 2020**(86) PCT No.: **PCT/EP2020/052751**

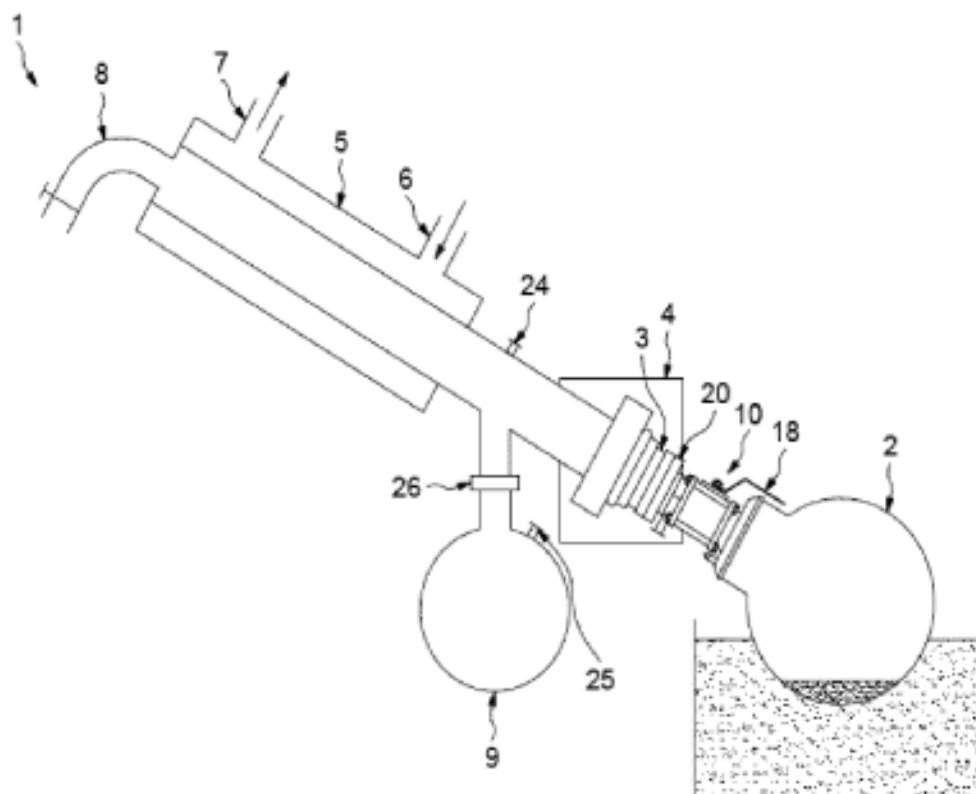
§ 371 (c)(1),

(2) Date: **Aug. 9, 2021**(30) **Foreign Application Priority Data**

Feb. 14, 2019 (FR) 1901529

Publication Classification(51) **Int. CL****B01D 3/08** (2006.01)**B01D 5/00** (2006.01)(52) **U.S. CL**CPC **B01D 3/085** (2013.01); **B01D 5/0051**(2013.01); **B01D 5/0045** (2013.01); **B01D****5/006** (2013.01)(57) **ABSTRACT**

Disclosed is a removable containment device for a rotary evaporator, comprising: a first end (12) for sealed connection to a rotation shaft (3) of the rotary evaporator (1); a second end (13) for sealed connection to a container (2) for receiving a mixture to be evaporated; and a body (11) in fluid connection with the first and second sealed connection ends (12, 13) comprising a valve system (14) for the selective passage between the first and second ends (12, 13) of the evaporating constituent of the mixture to be evaporated.



Арк.

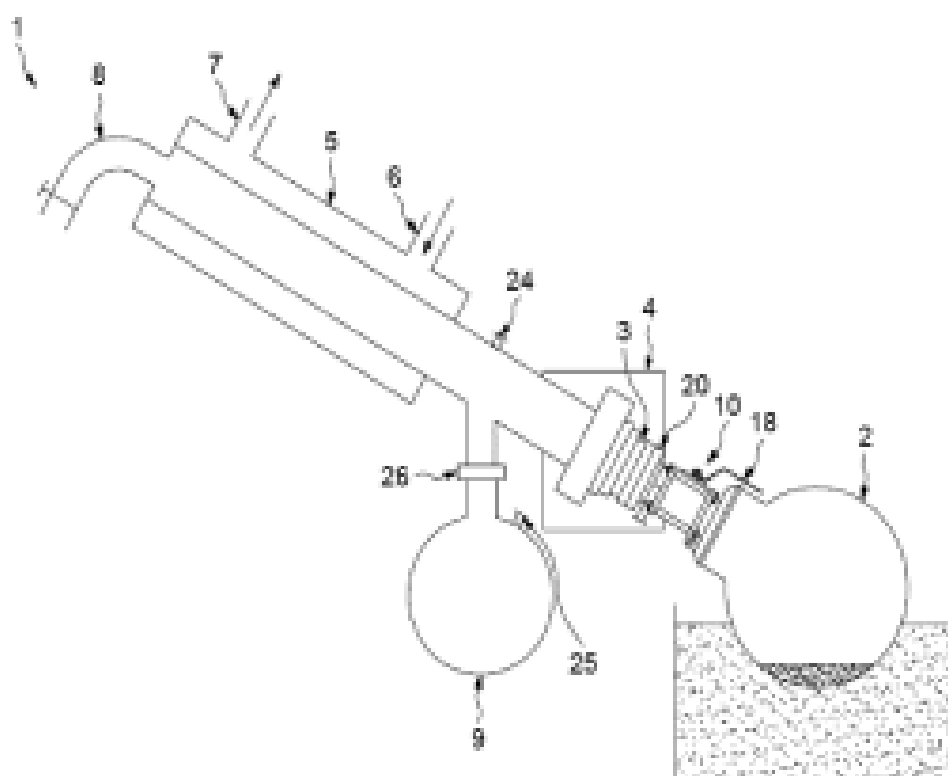
121

ЛН91.06534.2.001

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

[Fig 1]

FIG.1



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛН91.065342.001

Арк.

122



US011629109B2

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

(10) **Patent No.:** **US 11,629,109 B2**
(45) **Date of Patent:** **Apr. 18, 2023**

(54) **EXTRACTIVE DISTILLATION COLUMN SYSTEM AND THE USE THEREOF IN THE SEPARATION OF BUTENES FROM C4-HYDROCARBON STREAMS**

7/08; C07C 9/10; C07C 9/12; C07C 11/08; C07C 11/09; C07C 11/16; C07C 11/167; B01D 3/141; B01D 3/143; B01D 3/148

(71) Applicant: **Evonik Operations GmbH, Essen (DE)**

See application file for complete search history.

(72) Inventors: **Philip Lutze**, Dinslaken (DE); **Stephan Peltz**, Oer-Erkenschwick (DE); **Armin Matthias Rix**, Marl (DE); **Tanita Valérie Six**, Dortmund (DE); **Moritz Schröder**, Muenster (DE); **Niklas Paul**, Marl (DE)

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

6,514,387 B1	2/2003	Emmrich et al.	
7,556,717 B2 *	7/2009	Heida	C07C 7/08 203/99
2005/0199482 A1 *	9/2005	Heida	B01D 3/40 203/99
2006/0021911 A1	2/2006	Adrian et al.	
2006/0241329 A1	10/2006	Heida	
2007/0039813 A1	2/2007	Heida	
2014/0124358 A1	5/2014	Schwint et al.	

(73) Assignee: **Evonik Operations GmbH, Essen (DE)**

(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 0 days.

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

DE	2359300	6/1974
DE	19849651	5/2000
WO	2004/011406	2/2004
WO	2004/103937	12/2004
WO	2005/009931	2/2005

(21) Appl. No.: **17/808,250**

(22) Filed: **Jun. 22, 2022**

(65) **Prior Publication Data**

US 2022/0411352 A1 Dec. 29, 2022

OTHER PUBLICATIONS

European Search Report dated Dec. 21, 2021, in European Application No. 21181624.4, 10 pages

(30) **Foreign Application Priority Data**

Jun. 25, 2021 (EP) 21181624

* cited by examiner

(51) **Int. CL**
C07C 7/08 (2006.01)
B01D 3/40 (2006.01)
B01D 3/14 (2006.01)
B01D 3/00 (2006.01)

Primary Examiner — Jonathan Luke Pilcher

(74) Attorney, Agent, or Firm — Grüneberg and Myers, PLLC

(52) **U.S. CL**
CPC **C07C 7/08** (2013.01); **B01D 3/007** (2013.01); **B01D 3/148** (2013.01); **B01D 3/40** (2013.01)

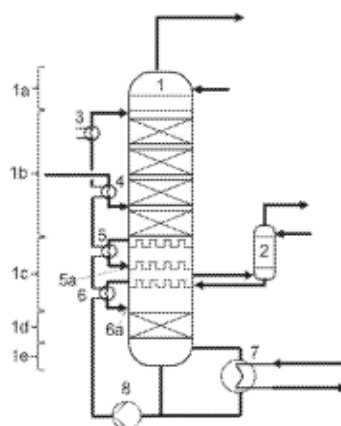
(57) **ABSTRACT**

An extractive distillation column system contains a combination column and a side rectification column. A process can be used for separation of butenes from C4-hydrocarbon streams using the extractive distillation column system.

(58) **Field of Classification Search**

CPC C07C 7/04; C07C 7/05; C07C 7/06; C07C

18 Claims, 5 Drawing Sheets



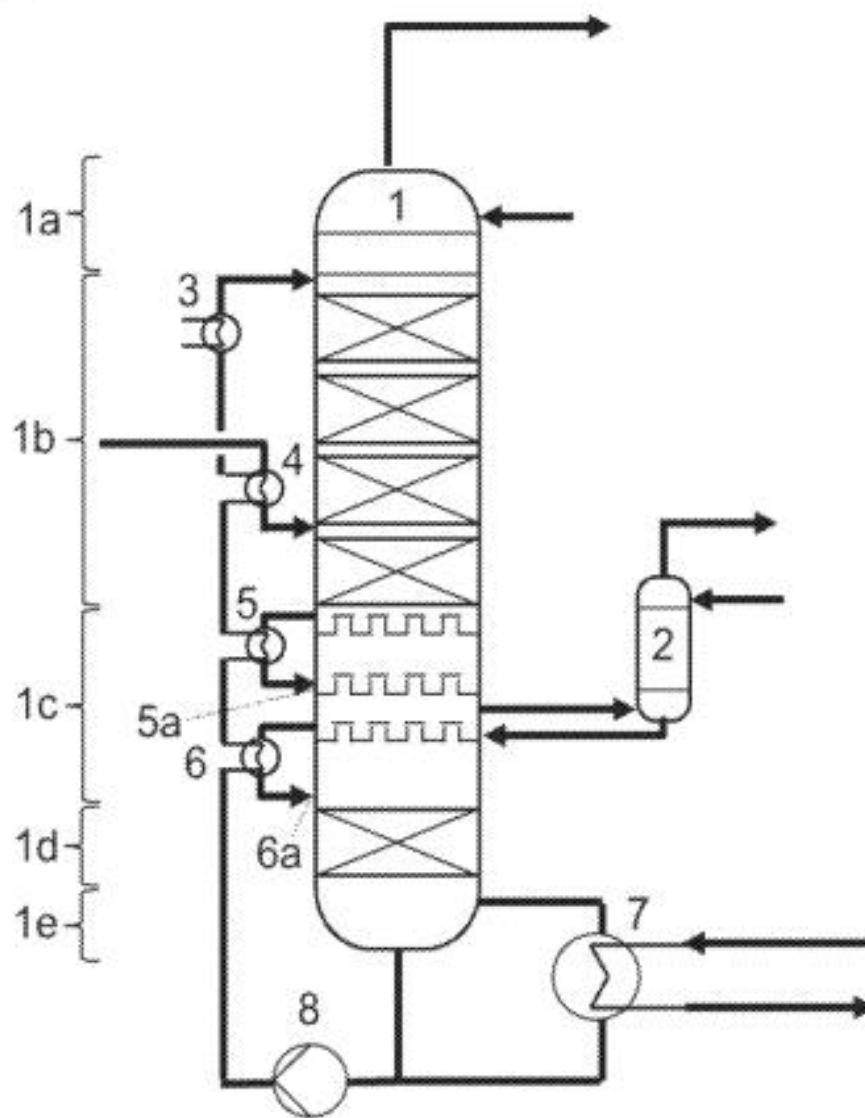
Арк.

123

1191.065342.001

Змн.	Арк.	№ докум.	Подпис	Дата

Fig. 1



(19) 国家知识产权局



(12) 实用新型专利



(10) 授权公告号 CN 218589717 U

(45) 授权公告日 2023.03.10

(21) 申请号 202223160456.3

(ESM) 同样的发明创造已同日申请发明专利

(22) 申请日 2022.11.28

(73) 专利权人 四川省洪雅县青工科技有限公司
地址 620360 四川省眉山市洪雅县余坪镇
福宝村

(72) 发明人 余建兵 张春太 张云照 彭凯
李德兵 杨燕

(74) 专利代理机构 成都聚蓉众享专利代理有限
公司 51291

专利代理师 刘艳均

(51) Int. Cl.

B01D 9/02 (2006.01)

B01D 3/06 (2006.01)

B01D 3/42 (2006.01)

B01D 5/00 (2006.01)

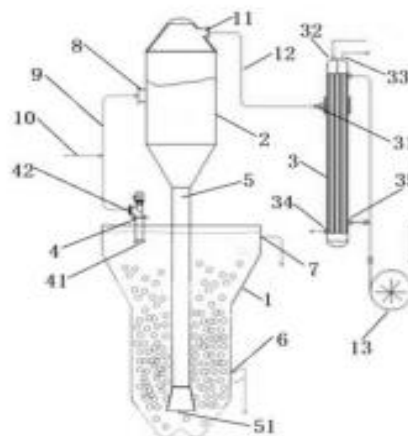
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 实用新型名称

一种真空型连续蒸发结晶装置

(57) 摘要

本实用新型公开了一种真空型连续蒸发结晶装置,属于蒸发结晶技术领域,目的在于解决现有结晶装置不易培养大颗粒晶体产品、易出现结疤堵管的问题。其包括结晶器、闪蒸器、冷凝器,结晶器顶壁设置有循环泵,闪蒸器底壁连通有中心导管,中心导管伸入结晶器内,结晶器侧壁下部设置有盐浆出口,结晶器侧壁上部设置有母液出口,闪蒸器的侧壁设置有进料口,进料口通过进料管与循环泵出口端连通,进料管还连通有浓盐水输入管,闪蒸器的侧壁上位于进料口上方设置有蒸汽出口,冷凝器还设置有蒸汽输入端口、冷却液进液口、冷却液出液口、冷凝液输出端口,蒸汽出口通过蒸汽导管与蒸汽输入端口连通。本实用新型适用于一种真空型连续蒸发结晶装置。



CN 218589717 U

					ЛН91.06534.2.001	Арк.
						125
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. 一种真空型连续蒸发结晶装置, 其特征在于, 包括结晶器(1)、闪蒸器(2)、冷凝器(3), 所述结晶器(1)顶壁设置有循环泵(4), 所述循环泵(4)的循环泵进口端(41)位于结晶器(1)内, 所述循环泵(4)的循环泵出口端(42)位于结晶器(1)外部, 所述闪蒸器(2)底壁连通有中心导管(5), 所述中心导管(5)伸入结晶器(1)内且所述中心导管(5)的中心导管出口端(51)靠近结晶器(1)的内底壁, 所述结晶器(1)侧壁下部设置有盐浆出口(6), 所述结晶器(1)侧壁上部设置有母液出口(7), 所述闪蒸器(2)的侧壁设置有进料口(8), 所述进料口(8)通过进料管(9)与循环泵出口端(42)连通, 所述进料管(9)还连通有浓盐水输入管(10), 所述闪蒸器(2)的侧壁上位于进料口(8)上方设置有蒸汽出口(11), 所述冷凝器(3)还设置有蒸汽输入端口(31)、冷却液进液口(32)、冷却液出液口(33)、冷凝液输出端口(34), 所述蒸汽出口(11)通过蒸汽导管(12)与蒸汽输入端口(31)连通。

2. 按照权利要求1所述的一种真空型连续蒸发结晶装置, 其特征在于, 所述冷凝器(3)还设置有不凝气输出端口(35), 所述不凝气输出端口(35)连通有真空泵(13)。

3. 按照权利要求1所述的一种真空型连续蒸发结晶装置, 其特征在于, 所述循环泵进口端(41)位于结晶器(1)内部上方靠近结晶器(1)内顶壁一侧。

					ΛΗ91.06534.2.001	Арк.
						126
Змн.	Арк.	№ докум.	Подпис	Дата		



US 20220163432A1

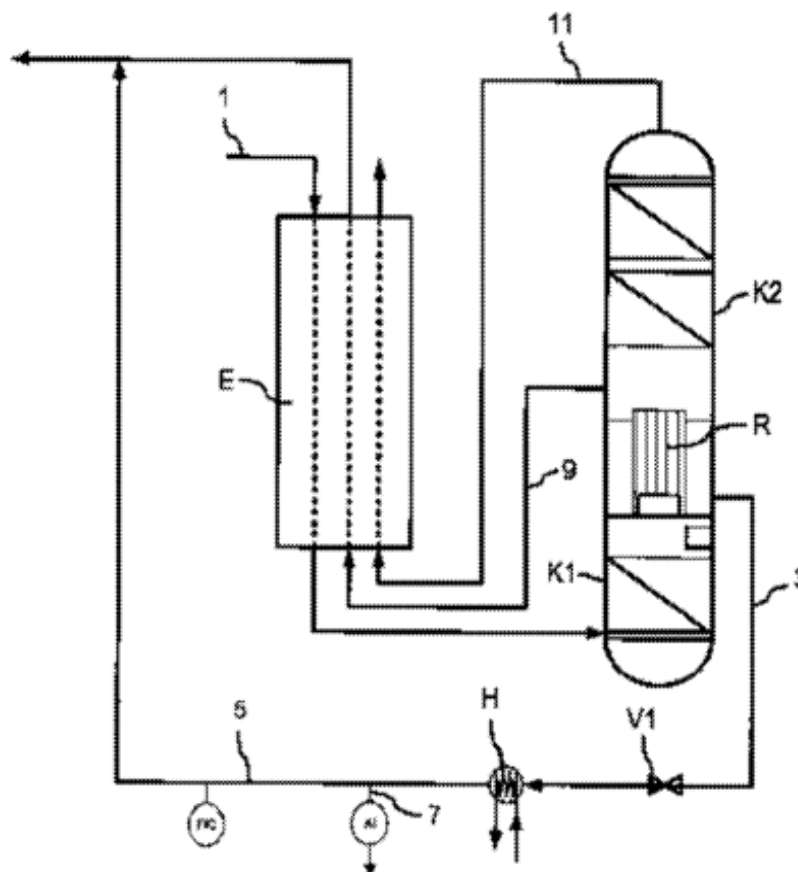
(19) **United States**(12) **Patent Application Publication**
DAVIDIAN(10) **Pub. No.: US 2022/0163432 A1**(43) **Pub. Date: May 26, 2022**(54) **PROCESS AND DEVICE FOR VAPORIZING
PURGE LIQUID FROM A CRYOGENIC
LIQUID VAPORIZER****Publication Classification**(51) **Int. Cl.****G01N 1/44** (2006.01)**F17C 7/04** (2006.01)(52) **U.S. CL.****CPC** **G01N 1/44** (2013.01); **F17C 7/04**(2013.01); **F17C 2223/0161** (2013.01); **F17C****2265/015** (2013.01); **F17C 2221/011**(2013.01); **F17C 2227/0302** (2013.01); **F17C****2250/0443** (2013.01)(71) Applicant: **L'Air Liquide, Societe Anonyme pour
l'Etude et l'Exploitation des Procèdes
Georges Claude, Paris (FR)**(72) Inventor: **Benoit DAVIDIAN, Champigny Sur
Marne (FR)**(73) Assignee: **L'Air Liquide, Societe Anonyme pour
l'Etude et l'Exploitation des Procèdes
Georges Claude, Paris (FR)**(21) Appl. No.: **17/531,472**(22) Filed: **Nov. 19, 2021**(30) **Foreign Application Priority Data**

Nov. 26, 2020 (FR) FR 2012162

(57)

ABSTRACT

Process for vaporizing purge liquid from a cryogenic liquid vaporizer, the liquid containing at least one impurity, in which the purge liquid is withdrawn from a bath of liquid surrounding the vaporizer or resulting from the vaporizer, all of the purge liquid is vaporized in a heater, characterized in that the content of the at least one impurity in at least one portion, or even all of the heated vaporized liquid is analysed and the flow rate of at least one portion, or even all of the heated vaporized liquid is measured.



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

1191.065342.001

Арк.

127

