

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра: Хімічної технології високомолекулярних сполук

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВР
зі спеціальності 6.133: Галузеве машинобудування

Тема проекту: «Виробництво великозернистих солей хлориду натрію.
Кристалізатор-класифікатор потужністю 1250 т/рік.»

Виконав студент

Точило В.І.

Залікова книжка:

№ _____

Захищений з оцінкою:

Керівник проекту

Банишевський В.В.

ШІ Сум ДУ 2022

ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
Кафедра „ Хімічної технології високомолекулярних сполук ”

Дисципліна: Машина та апарати хімічних виробництв

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. Кафедрою

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ НА КУРСОВУ РОБОТУ

Студенту: Точило В.І.

група ХМзт - 81ш курс IV

Тема курсової «Виробництво великозернистих солей хлориду натрію.

Кристалізатор-класифікатор потужністю 1250 т/рік»

Вихідні дані: Продуктивність 5000 кг/год. Динамічна в'язкість $0,515 \cdot 10^{-3}$ Па·с. Тиск в апараті 0,15 атм. Температура маточного розчину на вході а апарат 20⁰С. Насипна щільність матеріалу 1194 кг/м³.

3 Перелік обов'язкового графічного матеріалу (листи А1)

3.1 Технологічна схема установки А2

3.2 Складальне креслення А1

3.3 Складальні одиниці 2хА1

1. Література та матеріали, які рекомендуються: Касаткин А.Г.

Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973.

– 754с. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию/ Под ред. Ю.И. Дытнерский. М.: Химия, 1991. – 272с.

2. Контрольні терміни виконання: _____

Етапи і розділи курсової роботи	Тижні										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Вступна частина	+	+									
2. Технологічна (аналітична) частина			+	+							
3. Технологічні і конструктивні розрахунки					+	+					
4. Ремонт та монтаж. Охорона праці							+	+			
5. Розробка креслень									+	+	
6. Оформлення записки											+
7. Захисна робота											+

6. Дата видачі завдання _____ 20__ р

7. Термін захисту курсової роботи _____ 20__ р.

Керівник курсової роботи _____ Банишевський В.В. _____

Реферат

Пояснювальна записка: 60 арк., 1 рис., 2 таблиці., 9 літературних джерел. Графічні матеріали: технологічна схема виробництва, складальне креслення апарату, креслення складальних одиниць, всього 3,5 листи формату А1.

Тема курсового проекту: " Виробництво великозернистих солей хлориду натрію. Кристалізатор-класифікатор потужністю 1250 т/рік."

Описані теоретичні основи процесу, описана конструкція апарата та зроблений вибір матеріалів для виготовлення апарата. Приведений опис технологічної схеми установки з описом самого апарату та принцип його роботи.

Зроблені технологічні розрахунки.

Виконані розрахунки на міцність, опис монтаж та ремонт апарата. Приведена охорона праці на виробництві.

Ключові слова: КРИСТАЛІЗАЦІЯ, МАТЕРІАЛ, ПРОЦЕС, ТЕХНОЛОГІЯ, ХЛОРИД НАТРІЮ.

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Технологічна частина.....	6
1.1 Опис технологічної схеми виробництва	6
1.2 Теоретичні основи процесу	7
1.3 Опис конструкції проектного апарату	9
2 Технологічні розрахунки апарату	12
2.1 Матеріальний баланс.....	12
2.2 Теплові розрахунки	17
2.3 Конструктивні розрахунки	19
2.4 Гідравлічні розрахунки	32
2.5 Розрахунок допоміжного обладнання	33
3 Проектно-конструкторська частина.....	38
3.1 Вибір конструкційних апаратів	38
3.2 Розрахунок на міцність та стійкість.....	38
3.2.1 Розрахунок товщини стінки корпусу та кришки	38
3.2.2 Розрахунок фланцевого з'єднання	40
3.2.3 Розрахунок та вибір опори.....	49
4 Монтаж та ремонт апарата.....	51
4.1 Монтаж обладнання	51
4.2 Обслуговування та ремонт апарату.....	52
5 Охорона праці.....	54
5.1 Аналіз потенційних небезпек	54
5.2 Розрахунок заземлення апарата.....	56
ВИСНОВКИ	59
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	60

					<i>6.133.22.02.00.00.00 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арку</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Точило</i>				<i>Виробництво великозернистих солей хлориду натрію. Кристалізатор-класифікатор потужністю 1250 т/рік. Пояснювальна записка</i>	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перев.</i>	<i>Банишевский</i>					4		
<i>Н. Контр.</i>					<i>ІІІ Сум ДУ гр. ХМзт-81Ш</i>			
<i>Затверди</i>								

Вступ

Кристалізація, як процес хімічної технології широко застосовується при отриманні того чи іншого продукту у тому чистому вигляді. Наприклад, вона використовується у виробництві мінеральних добрив, соди, штучних волокон, а також у багатьох виробництвах фармацевтичної, нафтохімічної, металургійної та інших галузей промисловості.

Розрізняють три різновиди цього процесу: кристалізація з розчинів, розплавів та газової фази. Найбільшого поширення набув процес кристалізації з розчинів, що завершується отриманням великої кількості кристалів (так звана масова кристалізація), а не окремих монокристалів.

Вибір конструкції кристалізатора в кожному конкретному випадку вимагає врахування цілого ряду факторів: фізико-хімічних властивостей продукту, його чистоти, способу створення пересичення у розчині, масштабів у виробництві тощо.

Конструкції кристалізаторів розробляються на основі небагатьох вкрай спрощених співвідношень, що базуються головним чином на теплових та матеріальних балансах. Вибір кристалізаційного обладнання та його проектування проводяться зазвичай виходячи з аналогії з апаратами, що вже застосовуються для переробки подібних виробничих розчинів. При цьому не завжди враховуються специфічні особливості кристалізуючої речовини: схильність до утворення інкрустацій на теплопередаючих поверхнях, вплив швидкості кристалізації та інтенсивності руху розчину на ступінь його пересичення та розмір отриманих кристалів тощо.

Тому кристалізація, на відміну багатьох інших технологічних процесів, характеризується логічністю фізико-хімічних перетворень, т. е. вона доки піддається повному математичному опису.

У той же час при сучасному рівні теоретичних знань можна вже значною мірою покращити якість готового продукту і раціональніше використовувати апаратуру, якщо застосувати інженерно-хімічний підхід до вирішення проблем кристалізації. [1]

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми виробництва

Для отримання розчинів крупнокристалічних солей, розчинність яких у розчиннику незначно змінюється в залежності від температури, застосовують класифікуючі випарні кристалізатори, що працюють під атмосферним тиском або під вакуумом. Вакуумні кристалізатори краще, тому що вони дозволяють вести процес кристалізації при порівняно низьких температурах (35...50°C).

Принцип роботи класифікуючого випарного кристалізатора багато в чому аналогічний роботі класифікуючого охолоджувального кристалізатора

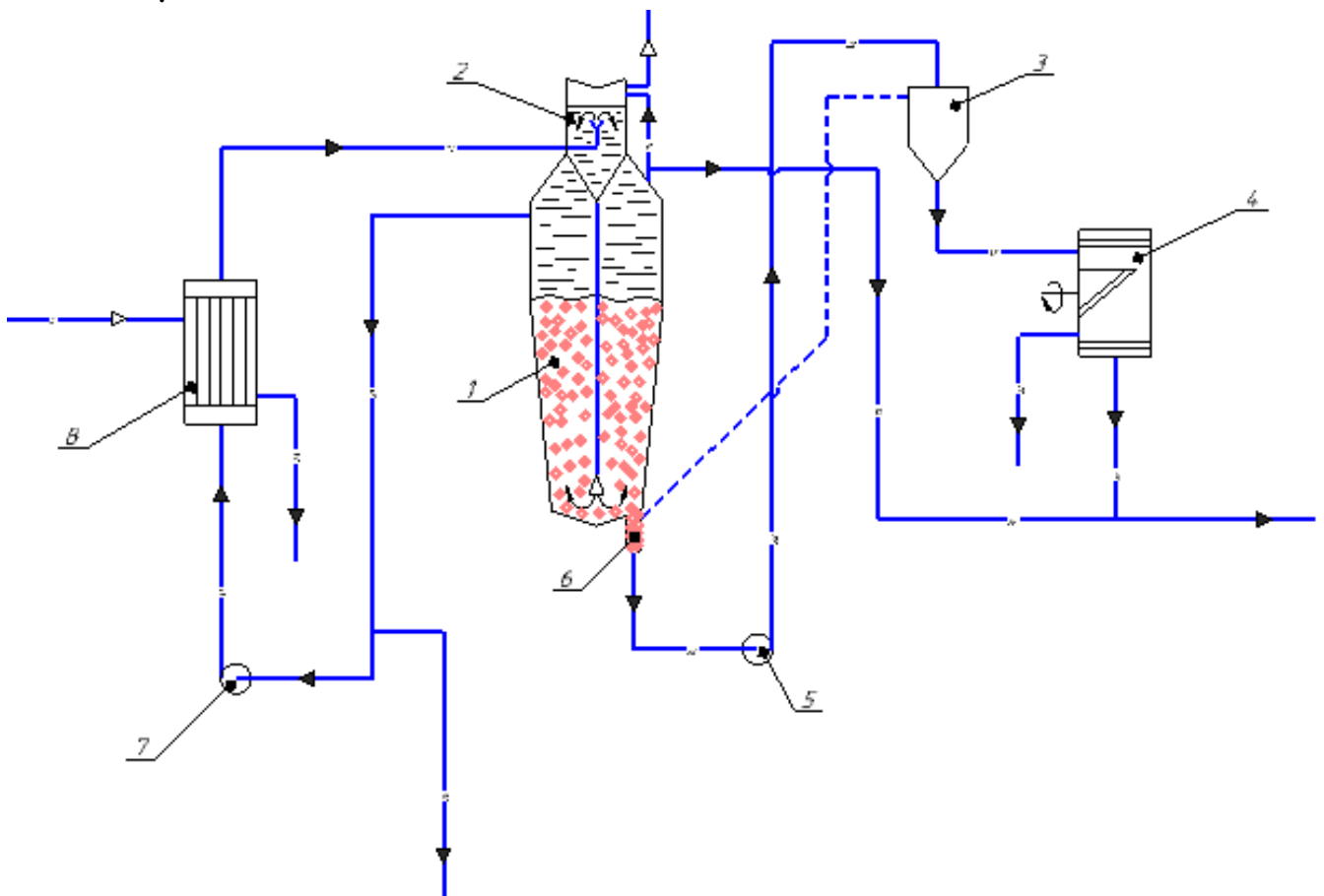


Рисунок 1.1 – Технологічна схема великозернистих солей хлориду натрію
1 – кристалонарощувач, 2 – випарник, 3 – кристалоуловлювач,
4 – центрифуга, 5, 7 – насос, 6 – солезбірник, 8 – теплообмінник

За замкненим контуром, утвореним кристалорослителем, випарником і сполучною їх центральною опускною трубою, через циркуляційні трубопроводи і теплообмінник циркуляційним насосом прокачується насичений розчин солі, що кристалізується.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

6.133.22.02.00.00.00 ПЗ

Арк.

6

Вихідний гарячий концентрований (поживний) розчин кристалізованої солі подається у всмоктуючий циркуляційний трубопровід по трубопроводу, змішується з циркулюючим розчином, суміш циркуляційним насосом подається в теплообмінник, де підігрівається до температури на 2...5°C вище температури циркуляційного розчину за рахунок теплоти що надходить трубопроводом. Підігрітий розчин, що поступив по трубопроводу у випарник, закипає, при цьому з нього самовипаровується частина розчинника, за рахунок чого розчин охолоджується до температури циркулюючого розчину і стає пересиченим на 3...5 кг/м³. Сокові пари відводяться з випарника трубопроводом. Інтенсивність процесу випаровування та пересичення розчину залежать від температури перегріву розчину, що надходить, залишкового тиску у вакуум-системі та фізико-хімічних властивостей розчиненої солі.

Пересичений розчин по центральній опускній трубі надходить у нижню частину кристалорослителя, розподіляється по перерізу апарату і приводить у зважений стан кристали, що знаходяться в ньому, при русі розчину через шар відбуваються зняття пересичення поверхнею зростаючих кристалів і класифікація кристалів за розмірами. Кристали, що вирости до необхідного розміру, відводяться з відстійної камери на поділ трубопроводом. Одночасно зі зростанням кристалів утворюються нові зародки, які потім продовжують рости, забезпечуючи безперервний перебіг процесу. Після проходження шару кристалів розчин стає насиченим і знову надходить на всмоктування насоса і в циркуляційний контур кристалізаційної установки, тим самим забезпечується безперервний режим роботи.

Таким чином, робота кристалізаційної установки з класифікуючим кристалізатором випарного типу залежить від правильно спроектованих і нормально функціонуючих апаратно-процесних одиниць (АПЕ): створення пересичення розчину за рахунок часткового випаровування розчинника у випарнику, виділення солі на поверхні витають у зваженому шарі кристалів, їх зростанні класифікації в кристалорослині, підведення теплоти в підігрівачі. Оскільки в даній установці теплообмінник не заростає інкрустаціями, процес кристалізації підтримується безперервно та стабільно протягом кількох тижнів, проте експлуатаційні витрати у цих системах вищі, ніж у системах з охолоджувальним кристалізатором.

1.2 Теоретичні основи процесу

В основі процесу кристалізації лежить здатність речовини розчинятися в різних рідинах, які називаються розчинниками. Найбільш поширеним

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

розчинником (для неорганічних речовин) є вода. Для розчинення органічних речовин використовують вуглеводні, спирти, ефіри та інші органічні розчинники..

Кристалізація, як процес, складається з низки етапів. До них відноситься утворення пересиченого розчину або переохолодженого розплаву, поява зародків, зростання кристалів та перекристалізація. Слід зазначити, що черговість окремих етапів у часі може бути різною. Вони або слідуєть один за одним, або протікають майже одночасно, поєднуючись один з одним.

У цілому нині кінетика кристалізації може бути охарактеризована наступними параметрами: ступенем пересичення чи переохолодження, швидкістю зародку освіти і швидкістю зростання кристалів. Перенасичення або переохолодження є рушійною силою процесу кристалізації. Перенасиченими розчинами називаються розчини, концентрація яких перевищує рівноважну концентрацію (розчинність). Переохолодженими розплавами називають розплави, що мають температуру нижче за температуру плавлення. Звідси випливає і уявлення про рівень пересичення або переохолодження.

Для характеристики ступеня пересичення використовують три величини: абсолютне пересичення ΔC , відносне пересичення δ та коефіцієнт пересичення S . Вони відповідно рівні

$$\Delta C = C - C_0; \quad (1.1)$$

$$\delta = \frac{C - C_0}{C_0}; \quad (1.2)$$

$$S = \frac{C}{C_0}. \quad (1.3)$$

Ступінь переохолодження зазвичай оцінюється однією величиною - абсолютним переохолодженням

$$\Delta T = T_0 - T. \quad (1.4)$$

Хід кристалізації графічно є залежністю «концентрація – час». Під швидкістю кристалізації розуміють або зміна концентрації розчину (розплаву), віднесене одиниці часу $\bar{m} = \Delta C / \Delta t$, або кількість кристалічної

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

фази, що утворилася в одиницю часу в одиниці об'єму $\bar{m} = \Delta m / \Delta t \cdot \Delta V$. Швидкістю утворення зародків називають число центрів кристалізації, що утворюються в одиницю часу $\bar{N} = \Delta N / \Delta t$.

1.3 Опис конструкції проектного апарату

Кристалізатор складається з корпусу, насоса, сепаратора, циркуляційних труб та відстійника для дрібної солі. Гарячий концентрований розчин надходить в апарат через штуцер, змішується з маточним розчином, що циркулює (співвідношення від 1:50 до 1:200), перегріваючи його при цьому на $0,2 \dots 2,0^\circ\text{C}$. Таким чином, пересичення, що виникає, не виходить за межі, допустимі для отримання великих кристалів в обладнанні цього типу. Пересичений розчин по трубі надходить у корпус, і далі процес йде так само, як у охолоджувальному кристалізаторі. Сокова пара з сепаратора видаляється через штуцер.

У конструктивному відношенні апарати цього типу можна розділити на відкриті та герметичні.

У кристалізаторі з відкритим корпусом розчин знаходиться під атмосферним тиском, рівень рідини в сепараторі встановлюється відповідно до залишкового тиску. У цих апаратах для вивантаження солі можна використовувати порівняно звичайні пристрої: кран, сифон, ерліфт, насос. Надлишок маткового розчину видаляється з апарату простим зливом.

Кристалізатори відкритого типу мають низку експлуатаційних незручностей. По-перше, через значну висоту установки утруднюється спостереження за її роботою та обслуговування. По-друге, мінливість рівня розчину в сепараторі (наслідок можливих коливань величини залишкового тиску) сприяє утворенню у ньому інкрустацій. По-третє, у разі порушення нормальної роботи можливий викид розчину з апарату. Так, при раптовому падінні вакууму весь розчин із сепаратора надходить у корпус кристалізатора і може перелитися через край; у разі заростання барометричної труби сіллю насос відкачує розчин з верхньої частини корпусу в сепаратор, звідки він може надійти в конденсатор. Нарешті відкритий кристалізатор не може бути використаний при роботі з токсичними розчинами.

Вакуум-кристалізатор з герметичним корпусом вільний від недоліків кристалізатора з відкритим корпусом, однак у нього дещо складніша конструкція корпусу та пристроїв для виведення маткового розчину та готового продукту. Рівень розчину в апараті підтримується шляхом

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

видалення маткового розчину через посудину, що сполучається з корпусом та сепаратором.

В апаратах зі зваженим шаром, як і у всіх вакуум-кристалізаторах, найбільш небезпечними з точки зору утворення інкрустацій є внутрішні поверхні сепаратора, а також труби, що стикаються з максимально пересиченим розчином. Особливо рясно солі відкладаються межі розділу рідкої і парової фаз, тобто. у зоні максимального пересичення розчину.

Утворення інкрустацій у таких кристалізаторах можна зменшити або повністю усунути відповідною подачею циркулюючого розчину сепаратор. Так, при осьовому введенні розчину під рівень, що застосовується для запобігання його закипанню в трубі, швидкість рідини, що виходить, повинна бути достатньою, щоб струмінь досягла поверхні. Якщо швидкість недостатня, частина рідини потрапляє у трубу, не встигаючи покипіти; температура в апараті підвищиться в порівнянні з рівноважною для даного залишкового тиску, в результаті чого зростає і температура циркулюючого розчину а, отже, і пересичення в тій його частині, яка все ж досягає поверхні і закипає.

Неповне прокипання розчину різкіше проявляється при тангенціальному або радіальному введенні розчину, оскільки при цьому ще більш утруднено надходження перегрітого розчину до поверхні кипіння, в результаті перегрів визначається головним чином гідростатичним тиском стовпа рідини над місцем введення. Розчин доцільно вводити вище рівня, вживаючи заходів проти заростання вступного штуцера (ретельне полірування, покриття емаллю або пластичними масами з гладкою поверхнею).

Для запобігання утворенню інкрустацій можна рекомендувати полірування стінок сепаратора (а також зворотної труби) або зрошення їх конденсатом, екранування стінок від киплячого розчину еластичними вібруючими матеріалами, місцевий обігрів стінок нижче рівня розчину і т.д.

Закономірності самого процесу кристалізації у вакуум-кристалізаторі з виваженим шаром такі самі, як і в охолодному тому ж типу. Аналогічний розрахунок циркуляції розчину та визначення розмірів корпусу кристалізатора. Розміри сепаратора розраховуються відповідно до рекомендацій для випарних апаратів.

Як уже зазначалося, в кристалізаторах з виваженим шаром можна отримувати крупнокристалічний продукт. Однак за продуктивністю на одиницю займаної площі вони поступаються іншим типам вакуум-кристалізаторів.

					<i>6.133.22.02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Вакуум-кристалізатор безперервної дії з циркуляційною трубою відрізняється високою стабільністю якісних показників одержуваного в них кристалічного продукту. Зміна витрати вихідного розчину і виходу кристалів в 1,5-2,0 рази не істотно впливає на розмір одержуваних кристалів. Однак великі коливання витрати та концентрації вихідного розчину можуть суттєво вплинути на величину винесення крапель розчину з потоком вторинної пари та на тривалість міжпромивного пробігу. Тому при експлуатації вакуум-кристалізаторів з циркуляційною трубою намагаються стабілізувати витрату, температуру та концентрацію вихідного розчину.

Стійкість роботи будь-якого вакуум-кристалізатора значною мірою залежить від стійкості роботи вакуум-конденсаційної системи. Сучасні промислові вакуум-кристалізатори обладнуються системами автоматичного регулювання (САР) вакуум-конденсаційних пристроїв. У структуру САР входять регулятори витрати води, що надходить у конденсатори, регулятори витрати пари на ежектори та прилади для контролю температури суспензії в кристалізаторі, температури охолоджуючої води на вході та виході з конденсаторів, тиску пари перед ежекторами, витрати та температури вихідного розчину.

Принцип дії САР вакуум-конденсаційної системи полягає у наступному. Датчики температури суспензії в кристалізаторі передають сигнал на регулятор температури, в якому провадиться зіставлення фактичного та заданого значень температури суспензії. Залежно від результату цього порівняння, регулятор температури подає ту чи іншу команду на регулятори витрати охолоджуючої води в конденсатори або витрати пари в ежектори, що відсмоктують повітря з конденсаторів.

Вакуум-кристалізатори, що працюють з роздільним виведенням суспензії в освітленому та згущеному вигляді, додатково обладнуються системою автоматичної підтримки заданої концентрації твердої фази суспензії, що знаходиться в кристалізаторі. Ця система складається з датчика щільності суспензії, що знаходиться в кристалізаторі, генератора пневматичних імпульсів, пульсуючого клапана лінії виведення з кристалізатора згущеної суспензії.

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

2 Технологічні розрахунки апарату

2.1 Матеріальний баланс

За даними таблиці А.2 [7], розчинність хлориду натрію становить:

$$\text{при } 20^{\circ}\text{C} \quad x_{20} = \frac{36\text{г}}{100\text{гH}_2\text{O}} = 26,5\% \text{ мас} = 6,2 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{кгH}_2\text{O}}$$

$$\text{при } 65^{\circ}\text{C} \quad x_{65} = \frac{37\text{г}}{100\text{гH}_2\text{O}} = 27,3\% \text{ мас} = 6,4 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{кгH}_2\text{O}}$$

$$\text{при } 75^{\circ}\text{C} \quad x_{75} = \frac{38,1\text{г}}{100\text{гH}_2\text{O}} = 27,6\% \text{ мас} = 6,5 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{кгH}_2\text{O}}$$

Щільність маткового розчину NaCl насиченого при 65°C і початкового розчину при 75°C визначаємо за таблицею 1,83[7]

$$\rho_2 = 1158 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_1 = 1163 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{20} = 1194 \text{ кг/м}^3$$

В'язкість насиченого розчину хлориду натрію при 65°C за формулою 12[2]

$$\lg \mu_p = \lg \mu_v + A_1 + \frac{B_1}{T} + C_1 L, \quad (2.1)$$

де μ_p, μ_v – динамічна в'язкість розчину та води відповідно при заданій температурі, мПа · с;

L – молярна концентрація солі у розчині, моль/кгH₂O;

A_1, B_1, C_1 – коефіцієнти, значення яких наведені у таблиці Б.2[2].

$$\lg \mu_p = \lg 0,441 + 0,0062 - \frac{0,0793}{65 + 273} + 0,008 \cdot 6,4,$$

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

звідки

$$\mu_p = 0,515 \text{ мПа} \cdot \text{с} = 0,515 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Питому теплоємність маткового розчину хлориду натрію, насиченого при 45°C, і початкового розчину при 75°C визначимо за формулою 13[2]

$$c = 4,19 \cdot (1 - x), \quad (2.2)$$

де x – концентрація солі,

$$c_2 = 4,19 \cdot (1 - 0,273) = 3,05 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К},$$

$$c_1 = 4,19 \cdot (1 - 0,276) = 3,03 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}.$$

Коефіцієнт молекулярної дифузії хлориду натрію у воді за даними таблиці А.5[2]

$$D_x = 1,59 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Визначимо фактор розчинності хлориду натрію [2]

$$a = \frac{\Delta x}{\Delta t \cdot x_0}; \quad (2.3)$$

при 20°C
$$a_{20} = \frac{38,1 - 36}{(75 - 20) \cdot 36} = 0,0112;$$

при 65°C
$$a_{65} = \frac{38,1 - 37,5}{(75 - 65) \cdot 37,5} = 0,0016;$$

Для безводних солей при $a > 0,008$ постійна k дорівнює [2]

$$k = 0,855 \cdot 10^{-3} \exp(-0,0163 \cdot t)$$

Граничне пересичення розчину при 65°C [2,22]

					<i>6.133.22.02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

$$\Delta x_{\text{гр}}^* = \frac{k \cdot M \cdot x_{65}}{1 + 4,5[1 - \exp(-12,5 \cdot a_{20})]} \quad (2.4)$$

де M – молярна маса соли, кг/кмоль;

$$\Delta x_{\text{гр}}^* = \frac{0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 58,4 \cdot 37,5}{1 + 4,5[1 - \exp(-12,5 \cdot 0,0011)]} = 0,62 \text{ г/100гH}_2\text{O} = 6,2 \text{ кг/м}^3$$

За практичними даними роботи кристалізаційних установок для отримання пересиченого розчину на вході в псевдозріджений шар кристалів вибираємо $\Delta x_{\text{вх}} = 3,0 \text{ кг/м}^3$.

Розрахункову об'ємну подачу циркуляційного насоса визначимо за формулою 47[2]

$$V_{\text{цн}} = \frac{G_{\text{к}}}{\Delta x_{\text{вх}}}, \quad (2.5)$$

де $G_{\text{к}}$ – задана продуктивність кристалізаційної установки, кг/год;

$$V_{\text{цн}} = \frac{5000}{3,0} = 1660 \text{ м}^3/\text{Год} = 0,44 \text{ м}^3/\text{с}.$$

За даними таблиці А.7, вибираємо горизонтальний осьовий насос типу ОХГ 6 – 34а з такими параметрами: подача $V_0 = 1660 \text{ м}^3/\text{Год}$, натиск $H_0 = 4,5 \text{ м}$, частота обертів $n_0 = 1450 \text{ об/хв}$, потужність двигуна $N_0 = 55 \text{ кВт}$.

Масова витрата циркулюючого розчину

$$G_{\text{цр}} = V_{\text{цр}} \cdot \rho_{65}, \quad (2.6)$$

$$G_{\text{цр}} = 250 \cdot 1158 = 0,29 \cdot 10^6 \text{ кг/Год} = 80,4 \text{ кг/с}.$$

Об'ємна витрата відібраної суспензії [2,49]

$$V_{\text{вс}} = \frac{G_{\text{к}}}{\rho_{\text{к}} \cdot (1 - \varepsilon_{\text{вс}})}, \quad (2.7)$$

					<i>6.133.22.02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

де $\varepsilon_{bc} = 0,65 - 0,75$ – порізність кристалічної суспензії.

$$V_{ec} = \frac{5000}{2170 \cdot (1 - 0,71)} = 7,37 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Для відбору кристалічної суспензії з установки вибираємо насос ежекторного типу з подачею $V_{bc} = 7,5 \text{ м}^3/\text{год}$, працюючого за рахунок подачі маткового розчину.

Розраховуємо фактичну порізність кристалічної суспензії, що виводиться з кристалізатора та об'ємну витрату маткового розчину, що відбирається з кристалічної суспензією [2]

$$\varepsilon_{bc} = 1 - \frac{G_k}{\rho_k \cdot V_{bc}}, \quad (2.8)$$

$$\varepsilon_{ec} = 1 - \frac{5000}{2170 \cdot 7,37} = 0,71;$$

$$V_{вмр} = V_{bc} \cdot \varepsilon_{bc}, \quad (2.9)$$

$$V_{вмр} = 7,37 \cdot 0,71 = 5,33 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Об'ємну витрату маткового розчину, що повертається в кристалізатор, визначимо за рівнянням 50[2]

$$V_{вр} = \frac{G_k}{\rho_k} \cdot \frac{\varepsilon_{bc} - \varepsilon_{yc}}{(1 - \varepsilon_{bc}) \cdot (1 - \varepsilon_{yc})}, \quad (2.10)$$

де $\varepsilon_{yc} = 0,5 \div 0,55$ – порізність ущільненої суспензії, що подається на центрифугування;

$$V_{ep} = \frac{5000}{2170} \cdot \frac{0,71 - 0,5}{(1 - 0,71) \cdot (1 - 0,5)} = 3,2 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Об'ємна та масова витрата маткового розчину, що спрямовується на центрифугу разом з кристалами

$$V_{мрц} = V_{вмр} - V_{вр}; \quad (2.11)$$

					<i>6.133.22.02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

$$G_{\text{мрц}} = V_{\text{мрц}} \cdot \rho_{\text{мр}}; \quad (2.12)$$

$$V_{\text{мрц}} = 5,33 - 3,2 = 2,13 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$G_{\text{мрц}} = 2,13 \cdot 1163 = 2477 \text{ кг/м}^3.$$

У зв'язку з тим, що для відведення суспензії необхідний матковий розчин, візьмемо коефіцієнт надлишку розчину 1,25 і тоді установку необхідно подавати вихідного розчину [2,112]

$$G_1 = \frac{G_{\text{к}}}{X_{\text{пр}}} \cdot \left[k_{\text{м}} + \frac{X_{\text{мр}} \cdot \rho_{\text{р}} \cdot \varepsilon_{\text{ус}}}{\rho_{\text{к}} \cdot (1 - \varepsilon_{\text{ус}})} \right] \quad (2.13)$$

де $k_{\text{м}} = 1$ – співвідношення молекулярних мас безводної солі та кристалогідрату в продукті.

$$G_1 = \frac{1,25 \cdot 5000}{0,27} \cdot \left[1 + \frac{0,273 \cdot 1163 \cdot 0,5}{2170 \cdot (1 - 0,5)} \right] = 25474 \text{ кг/год} = 7,08 \text{ кг/с}$$

Тоді об'ємна витрата початкового розчину

$$V_1 = \frac{G_1}{\rho_1}, \quad (2.14)$$

$$V_1 = \frac{25474}{1163} = 21,9 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Визначимо масову витрату води, що випаровується для забезпечення заданої продуктивності установки відносного кристалічного продукту [2,37]

$$W = \frac{G_{\text{к}} \cdot (k_{\text{м}} - X_{\text{мр}}) - G_{\text{пр}} \cdot (X_{\text{пр}} - X_{\text{мр}})}{X_{\text{мр}}}, \quad (2.15)$$

$$W = \frac{5000 \cdot (1 - 0,273) - 25474 \cdot (0,27 - 0,273)}{0,273} = 12502 \text{ кг/ч} = 3,47 \text{ кг/с}.$$

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

З матеріального балансу

$$G_1 = G_k + G_2 + W \quad (2.16)$$

маємо фактичну масову витрату маткового розчину

$$G_2 = 25474 - 5100 - 12502 = 8172 \text{ кг/год} = 2,27 \text{ кг/с.}$$

Тоді об'ємна витрата маткового розчину

$$V_2 = \frac{8172}{1163} = 7,03 \text{ м}^3/\text{год.}$$

У кристалізаторі буде підтримуватися постійний рівень розчину тому, що фактична витрата маточного розчину, що відводиться більше, ніж витрата маточного розчину, що відводиться разом з кристалами $V_{\text{мрц}}$. Разом з маточним розчином повинна відводиться не тільки кристалічна суспензія, а й домішки, розміщені у вихідному розчині. Матковий розчин, що відводиться, повертається в ємність вихідного розчину.

Приймемо тиск у вакуум-випарнику $0,15 \text{ кгс/см}^2$, якому відповідають такі параметри сокової пари: температура $t_{\text{сп}} = 53,6^\circ\text{C}$; щільність $\rho_{\text{сп}} = 0,098 \text{ кг/м}^3$; питома ентальпія $H_{\text{сп}} = 2596 \text{ кДж/кг}$.

2.2 Теплові розрахунки

Розрахуємо теплове навантаження трубчастого підігрівача, прийнявши теплові втрати у розмірі 5%

$$Q_{\text{п}} = 1,05 \cdot [G_{\text{мр}} \cdot c_{\text{мр}} \cdot t_{\text{мр}} + G_{\text{к}} \cdot (c_{\text{к}} \cdot t_{\text{мр}} - q) + W \cdot H_{\text{сп}} - G_{\text{пр}} \cdot c_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}] \quad (2.17)$$

$$Q_{\text{п}} = 1,05 \cdot [2,27 \cdot 3,05 \cdot 65 + 1,33 \cdot (0,852 \cdot 65 - 86,1) + 3,47 \cdot 2596 - 7,08 \cdot 3,03 \cdot 75] = \\ = 8439 \text{ кВт.}$$

Як гарячий теплоносій у підігрівачі використовуємо насичену водяну пару під тиском $1,033 \text{ кг/см}^2$; температура конденсату, що відводиться – $t_{\text{конд}} = 100^\circ\text{C}$. Тоді масова витрата пари, що гріє

					<i>6.133.22.02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

$$G_{\text{гп}} = \frac{Q_{\text{п}}}{H_{\text{гп}} - c_{\text{конд}} \cdot t_{\text{конд}}} \quad (2.18)$$

$$G_{\text{гп}} = \frac{8439}{2679 - 4,19 \cdot 100} = 7,52 \text{ кг/с.}$$

Співвідношення масових витрат гріючої та сокової пари

$$q_{\text{гп}} = \frac{G_{\text{гп}}}{W} \quad (2.19)$$

$$q_{\text{гп}} = \frac{7,52}{3,47} = 2,17.$$

Різниця температур між теплоносіями у підігрівачі

$$\Delta t_{\text{п}} = t_{\text{конд}} - t_{\text{мп}} = 100 - 65 = 35 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

Прийнявши коефіцієнт теплопередачі $K_{\text{т}} = 700 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$, розрахуємо необхідну площу поверхні трубчастого підігрівача

$$F_{\text{п}} = \frac{Q_{\text{п}}}{K_{\text{т}} \cdot \Delta t} \quad (2.20)$$

$$F_{\text{п}} = \frac{8439 \cdot 10^3}{700 \cdot 35} = 344 \text{ м}^2.$$

Прийнявши швидкість руху розчину у трубках теплообмінника $U_{\text{р}} = 1,2 \text{ м/с}$, знайдемо площу перерізу трубного простору

$$S_{\text{тр}} = \frac{V_{\text{шп}}}{u_{\text{р}}} = \frac{0,44}{1,2} = 0,367 \text{ м}^2.$$

Прийнявши трубки діаметром $\varnothing 25 \times 2 \text{ мм}$, знайдемо їх число

$$n_{\text{тр}} = \frac{S_{\text{тр}}}{0,785 \cdot d_{\text{вт}}^2} \quad (2.21)$$

					<i>6.133.22.02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

$$n_{\text{тр}} = \frac{0,367}{0,785 \cdot 0,021^2} = 1060.$$

2.3 Конструктивні розрахунки

Для одноходових теплообмінників найближче стандартне значення числа труб $n_{\text{тр}} = 1083$ при розміщенні їх за вершинами правильних шестикутників у корпусі діаметром $D = 1600$ мм.

Довжина трубчатки теплообмінника складає

$$L_{\text{тр}} = \frac{F_{\text{п}}}{\pi \cdot d_{\text{вн}} \cdot n_{\text{тр}}} \quad (2.22)$$

$$L_{\text{тр}} = \frac{344}{3,14 \cdot 0,021 \cdot 1083} = 4,81 \text{ м.}$$

Прийнявши довжину труб $L_{\text{тр}} = 4,0$ м, розрахуємо дійсну поверхню теплопередачі підігрівача

$$F_{\text{п}} = \pi \cdot d_{\text{вн}} \cdot L_{\text{тр}} \cdot n_{\text{тр}} \quad (2.23)$$

$$F_{\text{п}} = 3,14 \cdot 0,021 \cdot 4,0 \cdot 1083 = 340 \text{ м}^2.$$

Параметри продуктивної монофракції кристалів та діаметр нижньої циліндричної секції кристаловирощувача.

Число Архімеда для продуктивних кристалів

$$Ar_{\text{к}} = \frac{d^3 \cdot \rho_{\text{в}} \cdot (\rho_{\text{кр}} - \rho_{\text{в}}) \cdot g}{\mu_{\text{в}}^2} \quad (2.24)$$

$$Ar_{\text{к}} = \frac{(1,8 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 1000 \cdot (2170 - 1000) \cdot 9,81}{(0,515 \cdot 10^{-3})^2} = 252382.$$

Оптимальну порізність псевдозрідженого шару продуктивної монофракції кристалів розрахуємо за рівнянням

$$\varepsilon_{\text{опт}} = \frac{Z_1 - 1}{Z_1} = 1 - 0,1923 \cdot Ar_{\text{к}}^{0,06} \quad (2.25)$$

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

$$\varepsilon_{\text{opt}} = 1 - 0,1923 \cdot 252382^{0,06} = 0,594.$$

Число Рейнольдса для продуктивних кристалів визначимо за допомогою рівняння

$$Re = A \cdot Ar^\alpha \cdot \varepsilon^z, \quad (2.26)$$

де для значення $Ar > 2500$: $A = 0,335$, $\alpha = 0,63$, а величина z знаходиться з рівняння

$$z = \frac{5,2}{Ar^{0,06}} \quad (2.27)$$

$$z = \frac{5,2}{252382^{0,06}} = 2,47.$$

Отже

$$Re = 0,335 \cdot 252382^{0,63} \cdot 0,594^{2,47} = 234.$$

Розрахункова швидкість розчину у нижньому циліндрі

$$u_k = \frac{Re_k \cdot \mu_p}{d_k \cdot \rho_p} \quad (2.28)$$

$$u_k = \frac{234 \cdot 0,515 \cdot 10^{-3}}{1,8 \cdot 10^{-3} \cdot 1163} = 0,058 \text{ м/с.}$$

Визначасмо діаметр центральної труби, прийнявши швидкість розчину у ній $U_p = 1 \text{ м/с}$

$$d_{\text{цт}} = \sqrt{\frac{V_p}{0,785 \cdot u_p}} \quad (2.29)$$

$$d_{\text{цт}} = \sqrt{\frac{0,44}{0,785 \cdot 1,0}} = 0,32 \text{ м.}$$

Діаметр нижнього циліндра

					<i>6.133.22.02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

$$D_H = \sqrt{\frac{V_p}{0,785 \cdot u_k} + d_{цт}^2} \quad (2.30)$$

$$D_H = \sqrt{\frac{0,44}{0,785 \cdot 0,058} + 0,3^2} = 3,13 \text{ м,}$$

Приймаємо $D_H = 3,1$ м, тоді фактична швидкість розчину

$$u_H = \frac{V_{цн}}{0,785 \cdot (D_H^2 - d_{цт}^2)} \quad (2.31)$$

$$u_H = \frac{0,44}{0,785 \cdot (3,1^2 - 0,32^2)} = 0,059 \text{ м/с.}$$

Фактичне число Рейнольдса для продуктивних кристалів

$$Re_1 = \frac{u_H \cdot d \cdot \rho_B}{\mu_B} \quad (2.32)$$

$$Re_1 = \frac{0,059 \cdot 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot 1163}{0,515 \cdot 10^{-3}} = 240.$$

Фактична порізність псевдозрідженого шару продуктивної монофракції кристалів

$$\varepsilon_1 = \left(\frac{B \cdot Re^{0,1923}}{Ar^b} \right)^{Ar^{0,06}}, \quad (2.33)$$

де для значення $Ar > 2500$: $B = 1,234$ и $b = 0,12$.

$$\varepsilon_1 = \left(\frac{1,234 \cdot 240^{0,1923}}{252382^{0,12}} \right)^{258382^{0,06}} = 0,62.$$

Число Архімеда для кристалів, що виносяться

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

$$Ar_B = \frac{d_B^3 \cdot g \cdot \rho_p \cdot (\rho_k - \rho_p)}{\mu_p^2} \quad (2.34)$$

$$Ar_B = \frac{(0,3 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 9,81 \cdot 1163 \cdot (2170 - 1163)}{(0,515 \cdot 10^{-3})^2} = 1170.$$

Число Рейнольдса для кристалів, що виносяться

$$Re = A \cdot Ar_B^\alpha \cdot \varepsilon^z, \quad (2.35)$$

де для значення $Ar < 2500$: $A = 0,105$, $\alpha = 0,78$, а величина z знаходиться з рівняння

$$z = \frac{5,2}{Ar_B^{0,06}} = \frac{5,2}{1170^{0,06}} = 3,4.$$

Отже

$$Re = 0,105 \cdot 1170^{0,78} \cdot 0,62^{3,4} = 16,6.$$

Розрахункова швидкість розчину у верхньому циліндрі

$$u_B = \frac{Re_B \cdot \mu_p}{d_B \cdot \rho_p} \quad (2.36)$$

$$u_B = \frac{16,6 \cdot 0,515 \cdot 10^{-3}}{0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 1163} = 0,025 \text{ м/с.}$$

Діаметр верхнього циліндра

$$D_B = \sqrt{\frac{V_p}{0,785 \cdot u_B} + d_{\text{цт}}^2} \quad (2.37)$$

$$D_B = \sqrt{\frac{0,44}{0,785 \cdot 0,025} + 0,32^2} = 3,75 \text{ м,}$$

					<i>6.133.22.02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

прийmemo $D_B = 3,8$ м, тоді фактична швидкість розчину

$$u_B = \frac{V_{\text{цн}}}{0,785 \cdot (D_B^2 - d_{\text{цт}}^2)} \quad (2.38)$$

$$u_B = \frac{0,44}{0,785 \cdot (3,8^2 - 0,32^2)} = 0,039 \text{ м/с.}$$

Підставивши формулу 56 значення критеріїв Ar і Re і вирішивши отримане рівняння щодо d_B отримаємо

$$d_B = \left[\frac{u_B \cdot \rho_p^{0,22} \cdot \mu_p^{0,56}}{0,105 \cdot g^{0,78} \cdot (\rho_k - \rho_p)^{0,78}} \right]^{1/1,34} \quad (2.39)$$

$$d_B = \left[\frac{0,039 \cdot 1163^{0,22} \cdot (0,515 \cdot 10^3)^{0,56}}{0,105 \cdot 9,81^{0,78} \cdot (2170 - 1163)^{0,78}} \right]^{1/1,34} = 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,3 \text{ мм.}$$

Так як кристали діаметром менше 0,3 мм, як правило, виносяться в циркуляційний цикл, в якому частково підростають і повертаються до шару. Тому для визначення масової частки окремих монофракцій кристалів скористаємося значенням $d_B = 0,3$ мм.

Діапазони діаметрів витають у кристалоросії кристалів 1,8...0,3 мм розіб'ємо на окремі монофракції, при цьому за середній діаметр кожної монофракції зерен прийmemo середньоарифметичну величину. Результати розрахунків зводимо до таблиці 1.1

Таблиця 1.1 - Середні діаметри та масові частини приросту речовини на окремих монофракціях псевдозрідженого шару кристалів.

i	$d_{H_i} - d_{B_i}$	d_i , мм	m_i
1	1,8 – 1,6	$d_1 = \sqrt{1,8 \cdot 1,6} = 1,7$	$m_1 = \frac{1,8^3 - 1,6^3}{1,8^3} = 0,298$
2	1,6 – 1,4	$d_2 = \sqrt{1,6 \cdot 1,4} = 1,5$	$m_2 = \frac{1,6^3 - 1,4^3}{1,8^3} = 0,232$
3	1,4 – 1,2	$d_3 = \sqrt{1,4 \cdot 1,2} = 1,3$	$m_3 = \frac{1,4^3 - 1,2^3}{1,8^3} = 0,174$

4	1,2 – 1,0	$d_4 = \sqrt{1,2 \cdot 1,0} = 1,1$	$m_4 = \frac{1,2^3 - 1,0^3}{1,8^3} = 0,125$
5	1,2 – 0,8	$d_5 = \sqrt{1,0 \cdot 0,8} = 0,9$	$m_5 = \frac{1,0^3 - 0,8^3}{1,8^3} = 0,084$
6	0,8 – 0,6	$d_6 = \sqrt{0,8 \cdot 0,6} = 0,7$	$m_6 = \frac{0,8^3 - 0,6^3}{1,8^3} = 0,051$
7	0,6 – 0,4	$d_7 = \sqrt{0,6 \cdot 0,4} = 0,5$	$m_7 = \frac{0,6^3 - 0,4^3}{1,8^3} = 0,026$
8	0,4 – 0,3	$d_8 = \sqrt{0,4 \cdot 0,3} = 0,35$	$m_8 = \frac{0,4^3 - 0,3^3}{1,8^3} = 0,006$

Параметри псевдозрідженого шару окремих монофракцій.

Середнє пересичення розчину

$$\Delta x_{cp} = 0,317 \cdot \Delta x_{вх} = 0,317 \cdot 3 = 0,95 \text{ кг/м}^3 = 0,95 \text{ г/кг}$$

Визначаємо комплекс постійних для даної системи параметрів фізико-хімічних властивостей

$$E = \frac{[D_x^2 \cdot (\rho_k - \rho_p)^2 \cdot \rho_p]^{0,33}}{\mu_p} \quad (2.40)$$

$$E = \frac{[(1,59 \cdot 10^{-9})^2 \cdot (2170 - 1163)^2 \cdot 1163]^{0,33}}{0,515 \cdot 10^{-3}} = 2,984.$$

Параметри псевдозрідженого шару 1 монофракції:

- об'ємний коефіцієнт масовіддачі

$$\beta_1 = \frac{R \cdot E \cdot \varepsilon_i^{2,6/A_i^{0,06}} \cdot (1 - \varepsilon_i)}{A_i^r}, \quad (2.41)$$

де $R = 12,73$, $r = 0,35$ для діапазону чисел $A_i > 2500$, E – комплекс постійних для даної системи параметрів фізико-хімічних властивостей.

$$\beta_1 = \frac{12,73 \cdot 2,984 \cdot 0,62^{2,6/252382^{0,06}} \cdot (1 - 0,62)}{252382^{0,35}} = 0,103 \text{ кг/(м}^3 \cdot \text{с)};$$

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

- обсяг псевдозрідженого шару

$$V_1 = \frac{G_k}{\Delta x_{cp}} \cdot \sum_1^i \frac{m_i}{\beta_i} \quad (2.42)$$

$$V_1 = \frac{1,33}{0,95} \cdot \frac{0,298}{0,103} = 4,05 \text{ м}^3;$$

- висота псевдозрідженого шару

$$H_1 = \frac{V_1}{0,785 \cdot (D_H^2 - d_{цг}^2)} \quad (2.43)$$

$$H_1 = \frac{4,05}{0,785 \cdot (3,1^2 - 0,32^2)} = 0,54 \text{ м};$$

- Маса кристалів

$$M_1 = V_1 \cdot (1 - \varepsilon_1) \cdot \rho_k \quad (2.44)$$

$$M_1 = 4,05 \cdot (1 - 0,62) \cdot 2170 = 3340 \text{ кг};$$

- порізність на верхньому кордоні

$$\varepsilon_{B_1} = \left[\varepsilon_1 \cdot \left(\frac{d_1}{d_i} \right)^{e \cdot A_{\Gamma}^{0,06}} \right] \left(\frac{d_i}{d_1} \right)^{0,18} \quad (2.45)$$

$$\varepsilon_{B_1} = \left[0,62 \cdot \left(\frac{1,8}{1,6} \right)^{0,171 \cdot 252382^{0,06}} \right] \left(\frac{1,6}{1,8} \right)^{0,18} = 0,653 .$$

Прийнявши кут розкриття конуса $\alpha = 20^\circ$, параметри псевдозрідженого шару конічної секції визначаємо методом послідовних наближень.

					<i>6.133.22.02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

$$Ar_{B_2} = \frac{0,0016^3 \cdot 9,81 \cdot 1163 \cdot (2170 - 1163)}{(0,515 \cdot 10^{-3})^2} = 179191;$$

$$Ar_2 = \frac{0,0015^3 \cdot 9,81 \cdot 1163 \cdot (2170 - 1163)}{(0,515 \cdot 10^{-3})^2} = 147648 .$$

Перше наближення ($D_{H_2} = D_H$, $\varepsilon'_2 = \varepsilon_{H_2} = \varepsilon_{B_1}$) – об'ємний коефіцієнт масовіддачі

$$\beta_2 = \frac{R \cdot E \cdot \varepsilon_i^{2,6/Ar_i^{0,06}} \cdot (1 - \varepsilon_i)}{Ar_i^r}, \quad (2.46)$$

де $R = 12,73$, $r = 0,35$ для діапазону чисел $Ar_i > 2500$, E – комплекс постійних для даної системи параметрів фізико-хімічних властивостей

$$\beta_2 = \frac{12,73 \cdot 2,984 \cdot 0,653^{2,6/147648^{0,06}} \cdot (1 - 0,653)}{147648^{0,35}} = 0,119 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с});$$

- обсяг псевдозрідженого шару

$$V_2 = \frac{1,33}{0,95} \cdot \frac{0,232}{0,119} = 2,73 \text{ м}^3;$$

- висота розміщення середнього перерізу з урахуванням обсягу займаного центральною трубою

$$h_2 = \frac{\sqrt{(D_{H_2}^2 - d_{\text{цт}}^2)^2 + 5,1 \cdot V_2 \cdot D_{H_2} \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2}} - (D_{H_2}^2 - d_{\text{цт}}^2)}{4 \cdot 2,4 \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2}} \quad (2.47)$$

$$h_2 = \frac{\sqrt{(3,1^2 - 0,32^2)^2 + 5,1 \cdot 2,73 \cdot 3,1 \cdot \text{tg} 10^\circ} - (3,1^2 - 0,32^2)}{4 \cdot 2,4 \cdot \text{tg} 10^\circ} = 0,23 \text{ м};$$

- порізність псевдозрідженого шару

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$\varepsilon_2 = \left\{ \varepsilon_i \cdot \left[\frac{\left(\frac{d_{H_i}}{d_i} \right)^e}{\left(1 + 2 \cdot \frac{h_i}{D_{H_i}} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right)^{0,3846}} \right]^{Ar^{0,06}} \left(\frac{d_i}{d_{H_i}} \right)^{0,18} \right\} \quad (2.48)$$

$$\varepsilon_2 = \left\{ 0,653 \cdot \left[\frac{\left(\frac{1,6}{1,5} \right)^{0,171}}{\left(1 + \frac{2 \cdot 0,23 \cdot 0,1763}{3,1} \right)^{0,3846}} \right]^{179191^{0,06}} \left(\frac{1,5}{1,6} \right)^{0,18} \right\} = 0,656 ;$$

Перевіряємо умову

$$|\varepsilon'_2 - \varepsilon''_2| = |0,653 - 0,656| = 0,003 < 0,01 .$$

- висота псевдозрідженого шару

$$H_2 = \frac{\sqrt{(3,1^2 - 0,32^2)^2 + 10,2 \cdot 1,53 \cdot 3,1 \cdot 0,1763} - (3,1^2 - 0,32^2)}{4 \cdot 3,1 \cdot 0,1763} = 0,5 \text{ м};$$

- маса кристалів

$$M_2 = 2,73 \cdot (1 - 0,653) \cdot 2170 = 2056 \text{ кг};$$

- діаметр апарату на верхньому кордоні

$$D_{B_2} = 3,1 + 2 \cdot 0,28 \cdot 0,1763 = 3,2 \text{ м}.$$

Аналогічно розраховуємо параметри псевдозрідженого шару інших монофракцій кристалів. Результати розрахунків зводимо до таблиці 1.2.

					<i>6.133.22.02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Таблиця 1.2 - Параметри окремих монофракцій псевдозрідженого шару кристалів.

Найменування параметра	Номер фракції							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Середній діаметр кристалів d_i , мм	1,7	1,5	1,3	1,1	0,9	0,7	0,5	0,35
Масова частина приросту речовини m_i	0,298	0,232	0,174	0,125	0,084	0,051	0,026	0,006
Число Архімеда Ar_i	252382	147648	40096	19926	10203	5161	3827	2490
Коефіцієнт масовіддачі β_i , кг/(м ³ ·с)	0,103	0,119	0,143	0,166	0,182	0,18	0,164	0,146
Об'єм слоя V_i , м ³	4,05	2,73	1,09	0,48	0,2	0,11	0,07	0,05
Висота слоя H_i , м	0,54	0,5	0,17	0,074	0,032	0,013	0,008	0,004
Маса кристалів M_i , кг	3340	2056	1149	434	142	55	36	20

Сумарні параметри псевдозрідженого шару кристалів та кристалорослювача вакуум-випарного кристалізатора:

- Висота конічної секції

$$H_{\text{кк}} = \frac{D_{\text{в}} - D_{\text{н}}}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \quad (2.49)$$

$$H_{\text{кк}} = \frac{3,8 - 3,1}{2 \cdot \operatorname{tg} 10^\circ} = 1,99 \text{ м};$$

- повний геометричний об'єм конічної секції

$$V_{\text{кк}} = 0,262 \cdot H_{\text{кк}} \cdot (D_{\text{н}}^2 + D_{\text{н}} \cdot D_{\text{в}} + D_{\text{в}}^2) - 0,785 \cdot H_{\text{кк}} \cdot d_{\text{цт}}^2 \quad (2.50)$$

$$V_{\text{кк}} = 0,262 \cdot 1,99 \cdot (3,1^2 + 3,1 \cdot 3,8 + 3,8^2) - 0,785 \cdot 3,8 \cdot 0,32^2 = 18,38 \text{ м}^3;$$

- повний розрахунковий обсяг псевдозрідженого шару кристалів у кристалорослині

$$V_{\text{пш}} = \sum_1^i V_i \quad (2.51)$$

$$V_{\text{пш}} = 4,05 + 2,73 + 1,09 + 0,48 + 0,2 + 0,11 + 0,07 + 0,05 = 8,72 \text{ м}^3;$$

- повна висота псевдозрідженого шару кристалів

$$H_{\text{пш}} = \sum_1^i H_i \quad (2.52)$$

$$H_{\text{пш}} = 0,54 + 0,5 + 0,17 + 0,074 + 0,032 + 0,013 + 0,008 + 0,004 = 1,34 \text{ м};$$

- маса кристалів у псевдозрідженому шарі

$$M_{\text{пш}} = \sum_1^i M_i \quad (2.53)$$

$$M_{\text{пш}} = 3340 + 2056 + 1149 + 434 + 142 + 55 + 36 + 20 = 7232 \text{ кг};$$

- середній час знаходження кристалів в апараті

$$\tau = \frac{M}{G_k} \quad (2.54)$$

$$\tau = \frac{7232}{5000} = 1,51 \text{ год.}$$

Конструктивні розрахунки кристалорослину:

- Діаметр нижньої частини конічного розтруба

$$d_{\text{КТ}} = \sqrt{2 \cdot d_{\text{ЦТ}}^2} \quad (2.55)$$

$$d_{\text{КТ}} = \sqrt{2 \cdot 0,32^2} = 0,45 \text{ м.}$$

- висота конічного розтрубу

					<i>6.133.22.02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$h_{\text{ст}} = \frac{d_{\text{кт}} - d_{\text{шт}}}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \quad (2.56)$$

$$h_{\text{ст}} = \frac{0,45 - 0,32}{2 \cdot 0,1763} = 0,37 \text{ м.}$$

- відстань між низом труби та днищем апарату

$$h_c = (0,3 \dots 0,5) \cdot d_{\text{кт}}$$

$$h_c = 0,4 \cdot 0,45 = 0,18 \text{ м}$$

- висота зони розчинення над псевдозрідженим шаром кристалів до патрубку відведення розчину на циркуляційний насос

$$h_p = (0,3 \dots 0,5) \cdot D_B$$

$$h_p = 0,3 \cdot 3,8 = 1,14 \text{ м}$$

- висота верхньої циліндричної секції

$$H_B = 0,5 \cdot D_B$$

$$H_B = 0,5 \cdot 3,8 = 1,9 \text{ м}$$

- висота сферичного днища

$$h_d = 0,5 \cdot D_H + 0,05$$

$$h_d = 0,5 \cdot 3,1 + 0,05 = 1,6 \text{ м}$$

- висота сферичної кришки

$$h_{\text{кр}} = 0,5 \cdot D_B + 0,05$$

					<i>6.133.22.02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

$$h_{кр} = 0,5 \cdot 3,8 + 0,05 = 1,95 \text{ м}$$

- загальна висота кристалізатора

$$H_a = \sum_1^i H_i \quad (2.57)$$

$$H_a = 1,34 + 1,99 + 1,14 + 1,9 + 1,6 + 1,95 = 9,92 \text{ м.}$$

Визначимо конструктивні розміри вакуум-випарника.

Об'ємна витрата сокової пари

$$V_{сп} = \frac{W}{\rho}, \quad (2.58)$$

де ρ – щільність сокової пари за робочих умов.

$$V_{сп} = \frac{3,47}{0,0979} = 35,44 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Робочу швидкість пари в поперечному перерізі вакуум-випарника приймаємо $u_{сп} = 7,7$ м/с. При цьому слід застосувати краплеуловлювач для забезпечення необхідної чистоти вторинної пари.

Діаметр вакуум-випарника за рівнянням 108 [2]

$$D_{вп} = \sqrt{\frac{V_{сп}}{0,785 \cdot u_{сп}}} \quad (2.59)$$

$$D_{вп} = \sqrt{\frac{35,44}{0,785 \cdot 7,7}} = 2,42 \text{ м,}$$

Прийmemo $D_{вп} = 2,5$ м.

Допустиме напруження парового простору [2]

$$A_T = A_{атм} \cdot f_1 \cdot f_2 \quad (2.60)$$

$$A_T = 1000 \cdot 0,85 \cdot 0,4 = 340 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$$

Об'єм парового простору

					<i>6.133.22.02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

$$V_{\text{шт}} = \frac{V_{\text{сп}}}{A_{\text{T}}} \quad (2.61)$$

$$V_{\text{шт}} = \frac{3600 \cdot 3,47}{340} = 36,74 \text{ м}^3.$$

Висота парового простору

$$H_{\text{шт}} = \frac{V_{\text{шт}}}{0,785 \cdot D_{\text{ВП}}^2} \quad (2.62)$$

$$H_{\text{шт}} = \frac{36,74}{0,785 \cdot 2,5^2} = 7,49 \text{ м}$$

Приймаємо $H_{\text{шт}} = 7,5 \text{ м}$

2.4 Гідравлічні розрахунки

Значення швидкості руху розчину в апараті

$$\omega = 0,039 \text{ м/с.}$$

Тоді значення критерію Рейнольдса

$$Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho_2}{\mu_2} \quad (2.63)$$

$$Re = \frac{0,039 \cdot 3,8 \cdot 1163}{0,515 \cdot 10^{-3}} = 334673$$

– режим руху турбулентний.

Коефіцієнт тертя для охолодної води при турбулентному режимі руху

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

$$\lambda = \frac{0,316}{\text{Re}^{0,25}} \quad (2.64)$$

$$\lambda = \frac{0,316}{334673^{0,25}} = 0,013$$

Втрата тиску за висотою апарату

$$\Delta p_{\tau} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2} \quad (2.65)$$

$$\Delta p_{\tau} = 0,013 \cdot \frac{9,92}{3,8} \cdot \frac{0,039^2 \cdot 1163}{2} = 300 \text{ Па.}$$

2.5 Розрахунок допоміжного обладнання

Здійснимо вибір центрифуги для отримання основного продукту – твердої фази.

Грунтуючись на продуктивності кристалізатора та властивостях суспензії, приймаємо фільтруючу центрифугу типу ФГН-90.

Для розрахунку центрифуги вибираємо її основні параметри з таблиці 5.6 [4]:

внутрішній діаметр,	D = 900 мм;
довжина барабана,	L = 400 мм;
робоча ємність барабана,	V ₆ = 0,125 м ³ ;
максимальна частота обертання,	n = 25 с ⁻¹ ;
фактор поділу,	Φ = 1130;
площа поверхні фільтрування,	F = 1,12 м ² .

Для знаходження швидкості осадження частки діаметром d = 2,0 мм розрахуємо критерій Архімеда

$$\text{Ar} = \frac{d^3 \cdot (\rho - \rho_c) \cdot \rho_c \cdot g}{\mu_c}, \quad (2.66)$$

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

де ρ_c , μ_c – щільність і в'язкість рідкого середовища.

$$Ar = \frac{2,0^3 \cdot 10^{-9} \cdot (2110 - 1000) \cdot 1000 \cdot 9,8}{0,57^2 \cdot 10^{-6}} = 246973.$$

Цьому значенню критерію Архімеда ($Ar = 246973$) на рисунку 3.1 [4] відповідає значення критерію Рейнольдса

$$Re = 67.$$

Тоді швидкість осадження частки

$$\omega_{oc} = \frac{Re \cdot \mu_c}{\rho_c \cdot d}. \quad (2.67)$$

$$\omega_{oc} = \frac{67 \cdot 0,57 \cdot 10^{-3}}{1000 \cdot 2,0 \cdot 10^{-3}} = 0,0021 \text{ м/с.}$$

Продуктивність центрифуги по суспензії

$$V_c = \pi \cdot D \cdot L \cdot \omega_{oc} \cdot \Phi \cdot \eta_o, \quad (2.68)$$

де η_o – коефіцієнт ефективності поділу.

$$V_c = 3,14 \cdot 0,9 \cdot 0,4 \cdot 0,0021 \cdot 1130 \cdot 0,2 = 0,0054 \text{ м}^3/\text{с} = 1,94 \text{ м}^3/\text{год.}$$

що забезпечує продуктивність установки $V_{вр} = 1,14 \text{ м}^3/\text{год.}$

Виконаємо розрахунок відцентрового насоса для подачі води, що охолоджує, в апарат.

Витрати води

$$V = \frac{G}{\rho} \quad (2.69)$$

$$V = \frac{7,0}{1000} = 7,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с.}$$

					<i>6.133.22.02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

в апараті під надлишковим тиском 0,1 МПа. Температура води 10°C; геометрична висота підйому 2 м. Довжина трубопроводу на лінії всмоктування 3 м, на лінії нагнітання 10 м. На лінії всмоктування встановлено один вентиль, на лінії нагнітання – один вентиль та дросельна заслінка, є також два коліна під кутом 90°. Прийmemo швидкість води у всмоктувальному та нагнітальному трубопроводах однакової, що дорівнює 1 м/с. Тоді діаметр трубопроводу

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot \omega}}, \quad (2.70)$$

де ω - швидкість води, м/с;

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,007}{3,14 \cdot 1}} = 0,067.$$

Приймаємо трубопровід із сталі марки Сталь 20, діаметром 74×3 мм. Визначаємо величину критерію Re

$$Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho}{\mu} \quad (2.71)$$

$$Re = \frac{2 \cdot 0,068 \cdot 1000}{0,656 \cdot 10^{-3}} = 207951,$$

режим руху турбулентний.

Приймаємо абсолютну шорсткість стін труб, $e = 0,2$ мм [2], ступінь шорсткості

$$\frac{d}{e} = \frac{22}{0,2} = 110.$$

З рис 1.5 [2, с. 22] знаходимо значення коефіцієнта тертя

$$\lambda = 0,037$$

Визначаємо суму коефіцієнтів місцевих опорів [4, с.26]:
для всмоктувальної лінії

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

- Вхід у трубу $\varepsilon = 0,5$;
- вентиль для $d = 0,013$ мм $\varepsilon = 6,7$.

$$\Sigma\varepsilon_{\text{вс}} = 0,5 + 6,7 = 7,2;$$

для нагнітальної лінії

- вихід із труби $\varepsilon = 1,0$;
- нормальний вентиль $\varepsilon = 6,7$;
- дросельна заслінка $\varepsilon = 0,9$;
- коліно під кутом 90° $\varepsilon = 1,6$.

Отже,

$$\Sigma\varepsilon_{\text{н}} = 1 + 6,7 + 0,9 + 2 \cdot 1,6 = 11,8.$$

Визначаємо втрати напору:
у всмоктувальній лінії

$$h_{\text{вс}} = \left(0,037 \cdot \frac{3}{0,022} + 7,2 \right) \cdot \frac{1^2}{2 \cdot 9,81} = 0,62 \text{ м.}$$

нагнітальної лінії

$$h_{\text{н}} = \left(0,037 \cdot \frac{10}{0,022} + 11,8 \right) \cdot \frac{1^2}{2 \cdot 9,81} = 1,46 \text{ м.}$$

Загальні втрати напору

$$h_{\text{п}} = 0,62 + 1,46 = 2,08 \text{ м.}$$

Визначаємо повний напір [2]

$$H = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} + H_{\text{г}} + h_{\text{п}} \quad (2.72)$$

де Δp – надлишковий тиск, Па; $H_{\text{г}}$ – геометричний тиск;

$$H = \frac{0,1 \cdot 10^6}{992 \cdot 9,81} + 2 + 2,08 = 14,4 \text{ м.}$$

					<i>6.133.22.02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Корисна потужність насосу

$$N_{\text{п}} = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot V}{1000} \quad (2.73)$$

де V – витрати води, м³/с;

$$N_{\text{п}} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 14,4 \cdot 0,007}{1000} = 1,0 \text{ кВт.}$$

Потужність на валу двигуна

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_{\text{п}}}{\eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{п}}} \quad (2.74)$$

де $\eta_{\text{н}}$ – к.к.д. насоса; $\eta_{\text{п}}$ – к.п.д. передачі;

$$N_{\text{дв}} = \frac{1,0}{0,6 \cdot 1,0} = 1,7 \text{ кВт.}$$

Установча потужність двигуна з урахуванням пускових моментів

$$N_{\text{уст}} = \frac{1,05 \cdot N_{\text{дв}}}{\eta_{\text{дв}}} \quad (2.75)$$

$$N_{\text{уст}} = \frac{1,05 \cdot 1,7}{0,8} = 2,2 \text{ кВт.}$$

Встановлюємо за $V = 25,2$ м³/ч відцентровий насос марки X 65-50- з наступною характеристикою: продуктивність 25 м³/с, напір 20 м, потужність двигуна $N = 4,0$ кВт.

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

3 Проектно-конструкторська частина

3.1 Вибір конструкційних апаратів

Вибір конструкційного матеріалу, що визначається умовою експлуатації проектованого елемента, вузла або апарату (температура, тиск, величина навантаження, характер агресивного впливу середовища, вимоги до якості продукту, що переробляється і т. д.), слід виконувати так, щоб при низькій вартості і не дефіцитності матеріалу забезпечувати ефективну технологію виготовлення елемента (виробу).

Так як в апараті здійснюється технологічний процес із застосуванням матеріалу з підвищеною вимогою до його якості, то для забезпечення умов роботи апарату прийнято корозійностійку сталь аустенітного класу 12X18H10T, що відрізняється стійкістю майже до всіх зовнішніх впливів середовища. Сталь добре деформується в гарячому та холодному стані та легко зварюється, що полегшує виготовлення корпусних деталей методом згинання та забезпечує високу якість зварювальних швів. До недоліків цієї сталі слід віднести те, що через велику в'язкість вона гірше піддається механічній обробці. Однак, враховуючи, що механічна обробка конструктивних елементів апарату здійснюється тільки за місцем стику елементів конструкції, що зварюються, то цей фактор не має істотного впливу в цілому на вартість виготовлення апарату.

Матеріал зовнішньої оснастки, арматури, кріпильних елементів і т. д., що не мають контакту з переробленим середовищем, приймаємо конструкційну сталь 20. Вибір на користь цієї сталі, заснований на її порівняно низькій вартості, хорошій оброблюваності та досить високими фізико-механічними властивостями.

3.2 Розрахунок на міцність та стійкість

3.2.1 Розрахунок товщини стінки корпусу та кришки

Виконаємо розрахунок для сепараційного простору.

З умови завдання тиск у сепараційному просторі

$$p = 0,15 \text{ ата} = 0,015 \text{ МПа.}$$

З таблиці 1.2 [9] нормативне допустиме напруження при робочих умовах розрахунок для сепараційного простору.

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

З умови завдання тиск у сепараційному просторі

$$\sigma^* = 138 \text{ МПа.}$$

Напруга, що допускається для матеріалу з листового прокату

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma^* = 1 \cdot 138 = 138 \text{ МПа.}$$

Модуль пружності за робочих умов [9]

$$E = 1,98 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Розрахункова товщина стінки сепараційної камери

$$s_p = \max \left\{ \begin{array}{l} K_2 \cdot D \cdot 10^{-2} \\ \frac{1,1 \cdot p \cdot D}{2 \cdot [\sigma]} \end{array} \right\} \quad (3.1)$$

де $K_2 = 0,38$;

$$s_p = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,38 \cdot 2500 \cdot 10^{-2} \\ \frac{1,1 \cdot 0,015 \cdot 2500}{2 \cdot 138} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 8,5 \\ 0,6 \end{array} \right\} = 8,5 \text{ мм,}$$

$$K_1 = \frac{n_y \cdot p}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot E}, \quad (3.2)$$

де $n_y = 2,4$ – коефіцієнт запасу стійкості у робочому стані [9];

$$K_1 = \frac{2,4 \cdot 0,015}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot 1,98 \cdot 10^5} = 0,076$$

$$K_4 = \frac{10^3 \cdot [\sigma]}{E}. \quad (3.3)$$

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

$$K_4 = \frac{10^3 \cdot 138}{1,98 \cdot 10^5} = 0,7$$

Прийmemo корозійну надбавку за весь термін служби апарату [9] $c=1$ мм.
Виконавча товщина стінки сепаратора

$$s = s_p + c = 8,5 + 1 = 9,5 \text{ мм},$$

приймаємо стандартне значення $s = 10$ мм.

Розрахункова товщина стінки еліптичної кришки сепаратора

$$s_{кр} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,9 \cdot D}{510} \cdot \sqrt{\frac{n_y \cdot p}{10^{-6} \cdot E}} \\ \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma]} \end{array} \right\} \quad (3.3)$$

$$s_{кр} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,9 \cdot 2500}{510} \cdot \sqrt{\frac{2,4 \cdot 0,015}{10^{-6} \cdot 1,98 \cdot 10^5}} \\ \frac{0,015 \cdot 2500}{2 \cdot 138} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 8,8 \\ 0,6 \end{array} \right\} = 8,8 \text{ мм}.$$

Виконавча товщина стінки кришки

$$s_{кр} = s_p + c = 8,8 + 1 = 9,8 \text{ мм},$$

Приймаємо $s_{кр} = 10$ мм.

3.2.2 Розрахунок фланцевого з'єднання

Вихідні дані:

внутрішній діаметр $D = 1600$ мм;

розрахунковий тиск $p = 0,33$ МПа;

розрахункова температура $t = 75$ °С;

матеріал фланця – сталь 12Х18Н10Т;

матеріал болтів – сталь 35 ХМ.

					<i>6.133.22.02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Фланці неізолювані, приварені у стик. Зовнішні згинальний момент та осьова сила відсутні. Коефіцієнт міцності зварних швів $\varphi = 0,8$. У фланцевому з'єднанні не передбачено перехідну трубку, тобто.

$$s_1 = s_0 = s = 10 \text{ мм.}$$

Діаметр болтового кола

$$D_6 = D + 2 \cdot (s + d_6 + u) \quad (3.4)$$

де $u = 6$ мм; $d_6 = 20$ мм.

$$D_6 = 1600 + 2 \cdot (10 + 20 + 8) = 1060 \text{ мм.}$$

Приймаємо $D_6 = 1680$ мм.

Зовнішній діаметр фланця

$$D_H = D_6 + a \quad (3.5)$$

де $a = 40$ мм – для шестигранних гайок М20 (6, табл. 1.4).

$$D_H = 1680 + 40 = 1720 \text{ мм}$$

Зовнішній діаметр прокладки

$$D_{H.П} = D_6 - e \quad (3.6)$$

де $e = 30$ мм – для плоских прокладок при $d_6 = 20$ мм (6, табл. 1.41).

$$D_{H.П} = 1680 - 30 = 1650 \text{ мм}$$

Середній діаметр прокладки

$$D_{C.П} = D_{H.П} - b \quad (3.7)$$

де $b = 20$ мм – ширина плоскої неметалевої прокладки для діаметра апарату $D = 1600$ мм (6, табл. 1.42).

$$D_{C.П} = 1650 - 20 = 1630 \text{ мм}$$

					<i>6.133.22.02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Кількість болтів

$$n_{\text{б}} \geq \frac{\pi \cdot D_{\text{б}}}{t_{\text{ш}}} \quad (3.8)$$

де $t_{\text{ш}} = 4,6 \cdot d_{\text{б}} = 4,6 \cdot 20 = 92$ мм – крок розташування болтів при $p = 0,33$ МПа (6, табл. 1.43).

$$n_{\text{б}} = \frac{3,14 \cdot 1680}{92} = 57$$

Приймаємо $n_{\text{б}} = 60$, кратне чотирьом.

Товщина фланця

$$h_{\text{ф}} \geq \lambda_{\text{ф}} \cdot \sqrt{D \cdot s} \quad (3.9)$$

де $\lambda_{\text{ф}} = 0,38$ для $p = 0,33$ МПа і приварених встик фланців (6, рис. 1.40).
Приймаємо $h_{\text{ф}} = 50$ мм.

$$h_{\text{ф}} = 0,38 \cdot \sqrt{1600 \cdot 10} = 48 \text{ мм.}$$

Приймаємо $h_{\text{ф}} = 50$ мм.

Відстань між опорними поверхнями гайок для фланцевого з'єднання з прокладкою

$$l_{\text{б.о}} = 2 \cdot (h_{\text{ф}} + h_{\text{п}}) \quad (3.10)$$

де $h_{\text{п}} = 2$ мм – товщина прокладки.

$$l_{\text{б.о}} = 2 \cdot (50 + 2) = 104 \text{ мм}$$

Рівночинна внутрішнього тиску

$$F_{\text{д}} = \frac{p \cdot \pi \cdot D_{\text{с.п}}^2}{4} \quad (3.11)$$

$$F_{\text{д}} = \frac{0,33 \cdot 3,14 \cdot 1,63^2}{4} = 0,69 \text{ МН.}$$

Реакція прокладки

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

$$R_{\Pi} = \pi \cdot D_{c.\Pi} \cdot b_0 \cdot k_{\text{пр}} \cdot p \quad (3.12)$$

де $k_{\text{пр}} = 2,5$ – для пароніту (6, табл. 1.44); b_0 – ефективна ширина прокладки,

$$b_0 = 0,12 \cdot \sqrt{0,02} = 17 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

$$R_{\Pi} = 3,14 \cdot 1,63 \cdot 17 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5 \cdot 0,33 = 0,072 \text{ МН}$$

Зусилля, що виникають від температурних деформацій

$$F_t = \frac{y_{\delta} \cdot n_{\delta} \cdot f_{\delta} \cdot E_{\delta} \cdot (\alpha_{\phi} \cdot t_{\phi} - \alpha_{\delta} \cdot t_{\delta})}{y_{\Pi} + y_{\delta} + 0,5 \cdot y_{\phi} \cdot (D_{\delta} - D_{c.\Pi})^2}, \quad (3.13)$$

де $\alpha_{\phi} = 16,6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^{\circ}\text{C}$ і $\alpha_{\delta} = 13,3 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^{\circ}\text{C}$ – відповідно коефіцієнти лінійного розширення матеріалу фланців та болтів; $t_{\phi} = 0,96 \cdot t = 0,96 \cdot 117 = 112 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – розрахункова температура неізольованих фланців (6, табл. 1.37); $t_{\delta} = 0,95 \cdot t = 0,95 \cdot 117 = 111 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – розрахункова температура болтів (6, табл. 1.37); $E_{\delta} = 1,9 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ – для болтів зі сталі 35ХМ; $f_{\delta} = 2,35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ – для болтів М20; y_{δ} , y_{Π} , y_{ϕ} – податливості, відповідно болтів, прокладки, фланців.

Для болтів

$$y_{\delta} = \frac{l_{\delta}}{E_{\delta} \cdot f_{\delta} \cdot n_{\delta}} \quad (3.14)$$

де $l_{\delta} = l_{\delta.o} + 0,28 \cdot d_{\delta} = 104 + 0,28 \cdot 20 = 110 \text{ мм}$ – розрахункова довжина болта.

$$y_{\delta} = \frac{110 \cdot 10^{-3}}{1,9 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 60} = 41,1 \cdot 10^{-6} \text{ м/МН}$$

Для прокладання

$$y_{\Pi} = \frac{h_{\Pi}}{E_{\Pi} \cdot \pi \cdot D_{c.\Pi} \cdot b} \quad (3.15)$$

					<i>6.133.22.02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

де $E_{\pi} = 2000$ МПа для прокладки з пароніту.

$$y_{\pi} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{2000 \cdot 3,14 \cdot 1,63 \cdot 20 \cdot 10^{-3}} = 9,8 \cdot 10^{-6} \text{ м/МН}$$

Для фланця

$$y_{\phi} = [1 - \nu \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi})] \cdot \frac{\Psi_2}{h_{\phi}^3 \cdot E} \quad (3.16)$$

де

$$\lambda_{\phi} = \frac{h_{\phi}}{\sqrt{D \cdot s}} \quad (3.17)$$

$$\lambda_{\phi} = \frac{50}{\sqrt{1600 \cdot 10}} = 0,395;$$

$$\Psi_2 = \frac{D_H + D}{D_H - D} \quad (3.18)$$

$$\Psi_2 = \frac{1720 + 1600}{1720 - 1600} = 27,7;$$

$$\nu = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi} \cdot \left(1 + \frac{\Psi_1 \cdot h_{\phi}^2}{s^2}\right)} \quad (3.19)$$

$$\nu = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 0,395 \cdot \left(1 + \frac{0,04 \cdot 50^2}{10^2}\right)} = 0,58,$$

при

					<i>6.133.22.02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg \frac{D_H}{D} \quad (3.20)$$

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg \frac{1720}{1600} = 0,04 ;$$

$E = 2 \cdot 10^5$ МПа – для материала фланца.

Звідки

$$y_\phi = [1 - 0,58 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,395)] \cdot \frac{27,7}{0,05^3 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,237 \text{ м/МН}$$

Тоді

$$F_t = \frac{41,1 \cdot 10^{-6} \cdot 60 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 1,9 \cdot 10^5 \cdot (16,6 \cdot 112 - 13,3 \cdot 111) \cdot 10^{-6}}{9,8 \cdot 10^{-6} + 41,1 \cdot 10^{-6} + 0,5 \cdot 0,237 \cdot (1,68 - 1,63)^2} = 0,121 \text{ МН.}$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання

$$k_{ж} = \frac{y_\phi + 0,5 \cdot y_\phi \cdot (D_\phi - D - s) \cdot (D_\phi - D_{с.п})}{y_\pi + y_\phi + 0,5 \cdot y_\phi \cdot (D_\phi - D_{с.п})^2} \quad (3.21)$$

$$k_{ж} = \frac{41,1 \cdot 10^{-6} + 0,5 \cdot 0,237 \cdot (1,68 - 1,6 - 0,01) \cdot (1,68 - 1,63)}{9,8 \cdot 10^{-6} + 41,1 \cdot 10^{-6} + 0,5 \cdot 0,237 \cdot (1,68 - 1,63)^2} = 1,31.$$

Болтове навантаження в умовах монтажу

$$F_{\phi 1} = \max \left\{ \begin{array}{l} k_{ж} \cdot F_d + R_\pi \\ 0,5 \cdot \pi \cdot D_{с.п} \cdot b_0 \cdot p_{пр} \end{array} \right\} \quad (3.22)$$

де $p_{пр} = 20$ МПа для паронітової прокладки (6, табл. 1.44).

$$F_{\phi 1} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,31 \cdot 0,69 + 0,072 \\ 0,5 \cdot 3,14 \cdot 1,63 \cdot 17 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,976 \\ 0,87 \end{array} \right\} = 0,976 \text{ МН}$$

					<i>6.133.22.02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Болтове навантаження у робочих умовах

$$F_{\text{б}2} = F_{\text{б}1} + (1 - k_{\text{ж}}) \cdot F_{\text{д}} + F_{\text{т}} \quad (3.23)$$

$$F_{\text{б}2} = 0,976 + (1 - 1,31) \cdot 0,69 + 0,121 = 0,88 \text{ МН.}$$

Наведений згинальний момент

$$M_0 = 0,5 \cdot (D_{\text{б}} - D_{\text{с.п}}) \cdot F_{\text{б}1} \quad (3.24)$$

$$M_0 = 0,5 \cdot (1,68 - 1,63) \cdot 0,976 = 0,024 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Умови міцності болтів

$$\frac{F_{\text{б}1}}{n_{\text{б}} \cdot f_{\text{б}}} < [\sigma]_{\text{б}}^{20}; \quad (3.25)$$

де $[\sigma]_{\text{б}}^{20} = 230 \text{ МПа}$ – для матеріалу болтів при $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$\frac{0,976}{60 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 69 \text{ МПа} < 230 \text{ МПа};$$

$$\frac{F_{\text{б}2}}{n_{\text{б}} \cdot f_{\text{б}}} < [\sigma]_{\text{б}}; \quad (3.26)$$

де $[\sigma]_{\text{б}} = 229 \text{ МПа}$ – для матеріалу болтів при $t = 117 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$\frac{0,88}{60 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 62 \text{ МПа} < 229 \text{ МПа};$$

Умови міцності для прокладання

$$\frac{F_{\text{бmax}}}{\pi \cdot D_{\text{с.п}} \cdot b} \quad (3.27)$$

де $[p_{\text{пр}}] = 130 \text{ МПа}$ – для прокладки з пароніту (6, табл. 1.44).

					<i>6.133.22.02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

$$\frac{0,88}{3,14 \cdot 1,63 \cdot 20 \cdot 10^{-3}} = 14 \text{ МПа} < 130 \text{ МПа}$$

Максимальна напруга у перерізі фланця

$$\sigma_1 = \frac{T_\phi \cdot M_0 \cdot \nu}{D \cdot (s - c)^2} \quad (3.28)$$

де

$$T_\phi = \frac{D_H^2 \cdot \left[1 + 8,55 \cdot \lg\left(\frac{D_H}{D}\right) \right] - D^2}{(1,05 \cdot D^2 + 1,945 \cdot D_H^2) \cdot \left(\frac{D_H}{D} - 1\right)} \quad (3.29)$$

$$T_\phi = \frac{1,72^2 \cdot \left[1 + 8,55 \cdot \lg\left(\frac{1,72}{1,6}\right) \right] - 1,6^2}{(1,05 \cdot 1,6^2 + 1,945 \cdot 1,72^2) \cdot \left(\frac{1,72}{1,6} - 1\right)} = 1,88$$

$$\sigma_1 = \frac{1,88 \cdot 0,024 \cdot 0,58}{1,6 \cdot (0,01 - 0,0003)^2} = 174 \text{ МПа}$$

Максимальна напруга в перерізі обмеженим розміром s

$$\sigma_0 = f_\phi \cdot \sigma_1 \quad (3.30)$$

де $f_{cp} = 1$ при $\frac{s_0}{s} = 1$ (6, рис. 1.42).

$$\sigma_0 = 1 \cdot 174 = 174 \text{ МПа}$$

Окружна напруга в кільці фланця

$$\sigma_k = M_0 \cdot [1 - \nu \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_\phi)] \cdot \frac{\Psi_2}{D \cdot h_\phi^2} \quad (3.31)$$

					<i>6.133.22.02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

$$\sigma_k = 0,024 \cdot [1 - 0,58 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,395)] \cdot \frac{27,7}{1,6 \cdot 0,05^2} = 36 \text{ МПа.}$$

Напруга в стінці обичайки від внутрішнього тиску:
тангенціальне

$$\sigma_t = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s - c)} \quad (3.32)$$

$$\sigma_t = \frac{0,33 \cdot 1600}{2 \cdot (10 - 0,3)} = 28 \text{ МПа;}$$

Меридіональне

$$\sigma_m = \frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} \quad (3.33)$$

$$\sigma_m = \frac{0,33 \cdot 1600}{4 \cdot (10 - 0,3)} = 14 \text{ МПа.}$$

Умови міцності для перерізу обмеженого розміром s

$$\sqrt{(\sigma_0 + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2} - (\sigma_0 + \sigma_m) \cdot \sigma_t < \varphi \cdot [\sigma]_0, \quad (3.34)$$

$[\sigma]_0 = 0,002 \cdot E = 0,002 \cdot 2 \cdot 10^5 = 400 \text{ МПа}$ – для фланця зі сталі 12Х18Н10Т.

$$\sqrt{(174 + 14)^2 + 28^2} - (174 + 14) \cdot 28 = 178 \text{ МПа} < 0,8 \cdot 400 = 320 \text{ МПа}$$

Умова герметичності, що визначається кутом повороту фланця

$$\Theta = \frac{\sigma_k \cdot D}{E \cdot h_\phi} \quad (3.35)$$

де $[\Theta] = 0,009 \text{ рад}$ – допустимий кут повороту приварного встик фланця при $D = 1600 \text{ мм} < 2000 \text{ мм}$.

					<i>6.133.22.02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

$$\Theta = \frac{36}{2 \cdot 10^5} \cdot \frac{1,6}{0,05} = 0,0058 < [\Theta] = 0,009 \text{ рад.}$$

3.2.3 Розрахунок та вибір опори

Маса обичайки сепаратора, корпусу та труби визначається за формулою

$$m = \pi \cdot D \cdot s \cdot H \cdot \rho \quad (3.36)$$

$$m_c = 3,14 \cdot 2,5 \cdot 0,01 \cdot 7,5 \cdot 7850 = 5546 \text{ кг};$$

$$m_k = 3,14 \cdot 3,8 \cdot 0,01 \cdot 9,92 \cdot 7850 = 11150 \text{ кг};$$

$$m_T = 3,14 \cdot 0,32 \cdot 0,006 \cdot 9,92 \cdot 7850 = 469 \text{ кг.}$$

Маса кришки сепаратора

$$m_{кр} = 1,24 \cdot D_c^2 \cdot s_{кр} \cdot \rho \quad (3.37)$$

$$m_{кр} = 1,24 \cdot 2,5^2 \cdot 0,01 \cdot 7850 = 730 \text{ кг.}$$

Маса фланця сепаратора

$$m_{\phi_1} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\phi}^2 - D^2) \cdot h \cdot \rho \quad (3.38)$$

$$m_{\phi_1} = \frac{3,14}{4} \cdot (2,75^2 - 2,5^2) \cdot 0,08 \cdot 7850 = 647 \text{ кг.}$$

Маса фланця корпусу

$$m_{\phi_2} = 0,785 \cdot (D_{\phi}^2 - D_k^2) \cdot h \cdot \rho \quad (3.39)$$

$$m_{\phi_2} = 0,785 \cdot (3,95^2 - 3,8^2) \cdot 0,1 \cdot 7850 = 716 \text{ кг.}$$

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Маса штуцерів та оснащення у розмірі 10% від маси корпусу

$$m_{\text{шт}} = 0,1 \cdot m_{\text{к}} = 0,1 \cdot 5546 = 555 \text{ кг.}$$

Маса суспензії в апараті

$$m_{\text{сус}} = V \cdot \rho_{\text{с}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{к}}^2}{4} \cdot H_0 \cdot \rho_{\text{с}} \quad (3.40)$$

$$m_{\text{сус}} = \frac{3,14 \cdot 3,8^2}{4} \cdot 1,34 \cdot 1163 = 17665 \text{ кг.}$$

Маса завантаженого апарату

$$m = 5546 + 11150 + 469 + 730 + 647 + 716 + 555 + 17665 = 37478 \text{ кг.}$$

Вага апарату

$$G = m \cdot g = 37478 \cdot 9,81 = 367,7 \cdot 10^3 \text{ Н} = 367,7 \text{ кН.}$$

Приймаємо кількість опор $n = 4$ шт.

Навантаження на одну опору

$$Q = \frac{G}{n} = \frac{376,7}{4} = 92 \text{ кН.}$$

Приймаємо опору-лапу типу 2 з навантаженням, що допускається $Q = 100$ кН. Позначення опори: Опора 2-10000 ОСТ 26-665-79.

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

4 Монтаж та ремонт апарата

4.1 Монтаж обладнання

Кристалізатори або їх частина знаходяться у спеціальному приміщенні. Їх монтаж найбільш зручно проводити до того, як зведені стіни будівлі та перекриття. В цьому випадку для встановлення секцій можна ефективно використовувати самохідний стріловий кран вантажопідйомністю 5-10 т. При готовності будівлі монтаж виробляють через вікна або монтажні отвори. Після приймання фундаментів приступають до встановлення, вивіряння та закріплення опорних стійок каркаса. Потім внутрішньо стійок заводять послідовно, починаючи знизу, труби секцій кристалізатора і попередньо закріплюють до каркаса. Остаточне вивіряння та закріплення секцій проводять після завершення складання всіх секцій кристалізатора. Після встановлення труб. При складанні секцій апарату необхідно забезпечити надійне кріплення сполучних болтів. Після установки труб з'єднують секції між собою двійниками, набивають сальники та перевіряють компенсатори, встановлюють зірочки ланцюгової передачі, акумулятор, двигун та редуктор. Потім вивіряють секції кристалізатора, забезпечуючи проектний ухил та розташування всіх зірочок ланцюгової передачі в одній площині. Після закінчення складання та вивіряння кристалізатора проводять його обкатку. Труби секцій та акумулятор піддають гідравлічному випробуванню. [5]

Перед монтажем кристалізаторів перевіряють геометричні розміри фундаменту або опорної конструкції під апарат, а також підстави під привод. Відстань між анкерними (фундаментними) болтами має відповідати проектним даним. [5] Технологія монтажу кристалізатора і вибір вантажопідйомних механізмів залежать від стану апарату, що поставляється на монтажний майданчик (повністю зібраним або окремими вузлами) і місця установки кристалізатора (на нульовій позначці або на міжповерховому перекритті цеху).

Особливу увагу при монтажі кристалізатора звертають на набивання та затягування сальника.

Важливою складовою частиною кристалізаторів є апаратура для створення та підтримки тиску. Як насоси для кристалізаційних установок зазвичай застосовують ежекторні пароструминні насоси, які компактні, прості по пристрої та в експлуатації і не вимагають при монтажі спеціального фундаменту [4, 42]. Великою перевагою таких насосів є відсутність рухомих частин, завдяки чому вони можуть бути виготовлені з різних корозійностійких матеріалів і використані для видалення агресивних

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

парогазових сумішей. Щоправда, їх ККД значно нижчий за ККД механічних вакуум-насосів. [5]

Зібрані на підготовчому майданчику або цеху монтажних заготовок секції кристалізаторів на опорних металоконструкціях подають до місця монтажу, де за допомогою крана їх встановлюють на фундамент. На вивіреному рівнем і схилом блоці кристалізаторів монтують майданчик під привід і встановлюють привід. [5]

Після вивірки блоку кристалізаторів та монтажу його приводу випробовують корпуси кристалізаторів та сальників із застосуванням різних компонентів. Випробуваний блок кристалізаторів обкатують, при цьому перевіряють якість набивання сальників, складання скребків та монтажу всієї системи приводу.

При прийманні кристалізаторів у монтаж та їх монтажі допускаються деякі відхилення від проектних розмірів.

4.2 Обслуговування та ремонт апарату

Кристалізатор повинен перебувати під наглядом експлуатаційного персоналу. Періодичність оглядів та перевірок встановлюється місцевими інструкціями відповідно до вимог «Правил устрою та безпечної експлуатації судин, що працюють під тиском».

Ефективність роботи теплообмінників контролюється нагріву мережевої води. Ступінь забруднення контролюється перепадом тиску в теплообміннику. Періодичність та способи чищення теплообмінника встановлюється місцевими інструкціями відповідно до вимог «Правил устрою та безпечної експлуатації судин, що працюють під тиском».

Кристалізатор повинен піддаватися технічному огляду після монтажу, до пуску в роботу, періодично в процесі експлуатації та у необхідних випадках – позачерговому огляду.

Зовнішній та частковий внутрішній огляд (конструкція корпусу нероз'ємна та внутрішньому огляду не підлягає) повинен проводитись не рідше одного разу на 2 роки.

Перед внутрішнім оглядом та гідравлічним випробуванням теплообмінник зупинити, охолодити, злити воду, відключити заглушками від усіх трубопроводів, що з'єднують теплообмінник із джерелом тиску або іншими судинами..

Гідравлічне випробування теплообмінника проводити в зібраному вигляді в наступній послідовності: спочатку порожнину трубної системи,

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

потім порожнину корпусу пробним тиском, зазначеним у кресленні та паспорт кристалізатора.

Експлуатаційні вимоги:

Експлуатуватися кристалізатор ГОСТ 11909-66 повинен відповідно до «Правил технічної експлуатації електричних станцій та мереж», «Правил пристрою та безпечної експлуатації судин, що працюють під тиском» та «Правил техніки безпеки при експлуатації тепломеханічного обладнання електростанцій і теплових мереж».

Вакуум-кристалізатори, випарні апарати (температура 50-95 С) захищені футеровкою діабазовою плиткою на діабазовій замазці частина апаратів виготовлена зі сталі 08Х17Н13М2Т із товщиною стінки 8 мм. У футерованих кристалізаторів через 1,5-2 роки проводять ремонт окремих ділянок через відшаровування плитки. На металевих апаратах спостерігаються тріщини в області зварних швів через гідравлічні удари при подачі гострої пари. Підварювання зварних швів проводять 1 раз на два роки. Термін служби та металевих та футерованих кристалізаторів більше десяти років. [5]

Трубопроводи на лінії відходів ММА, БМА виготовлені з міді чи графіту у броні. Перші мають обмежений термін служби - 8-9 місяців другі при правильному монтажі працюють близько 10 років. Інші трубопроводи – від нейтралізатора до вакуум-кристалізатора, від збірки органічних відходів до цеху переробки їх у суперпластифікатор – зі сталі 08Х17Н13М2Т експлуатуються понад 10 років. [5]

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

5 Охорона праці

5.1 Аналіз потенційних небезпек

Для кожного промислового виробництва складається нормативно-технічна документація, в якій зазначається::

- 1) Характеристика властивостей продукту, вихідної сировини та допоміжних матеріалів.
- 2) Опис технологічного процесу зі схемою виробництва.
- 3) Норми технологічного режиму із зазначенням гранично допустимих відхилень.
- 4) Можливі неполадки технологічного процесу, їх причини та способи усунення
- 5) Основні правила пуску, безпечного ведення процесу та зупинки обладнання.
- 6) Аналітичний та автоматичний контроль виробництва.
- 7) Правила аварійного зупину виробництва.
- 8) Відходи виробництва, стічні води та викиди в атмосферу: їх склад, способи утилізації чи очищення та порядок скидання.
- 9) Перелік інструкцій, знання яких є обов'язковим для осіб, які ведуть технологічний процес та обслуговують це виробництво.

Точне дотримання нормативно-технічної документації, регламент забезпечує задану продуктивність, якість продукції, безпеку та санітарні умови праці.

Порушення послідовності операцій, відхилення (більше допустимих) від заданих кількостей завантажуваної сировини, температур, тиску тощо можуть призвести до аварій.

Для підтримки необхідного технологічного режиму в безперервних сучасних промислових виробництвах контроль і регулювання процесу автоматизують. На вимірювальних та регулюючих приладах є пересувні контакти, встановлені на межі гранично допустимих відхилень. При досягненні небезпечних параметрів прилади автоматично вимикають відповідне обладнання та включають звукові або світлові сигнали.

На шкалах найпростіших приладів (манометри, термометри тощо) наносять червону межу, що вказує на гранично допустиме відхилення параметра.

Процес кристалізації відноситься до процесу із значним виділенням тепла. Температура нагрітих поверхонь обладнання та огорож на робочих місцях не повинна перевищувати 45°C; для обладнання, всередині якого

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

температура дорівнює або нижче 100°C, температура поверхні не повинна перевищувати 35°C.

Обладнання, прилади, трубопроводи та подібні джерела тепла забезпечуються теплоізоляцією.

На ділянках технологічного процесу, де виділяється багато вологи, повинні встановлюватися аспірація та місцеві відсмоктувачі.

Протипожежні заходи організуються згідно СНиП 2.09.02-85, категорія будівлі по СНиП II М-2-72 і ОНТП-24-84 відноситься до категорії «В».

Обладнання та комунікації повинні мати надійне заземлення.

Усі рухомі частини механізмів повинні бути огорожені суцільними або сітчастими огорожами або укладені в кожухи, що унеможливило захоплення одягу обслуговуючого персоналу.

Прорізи в підлогах, люки та переходи мають бути з огорожами.

Питання герметичності апаратів, трубопроводів та приймачів необхідно приділяти належну увагу. З метою зниження концентрації парів у повітрі відділення обладнується надійною припливно-витяжною вентиляцією через фрамуги у вікнах, витяжних ліхтарях та за допомогою дефлекторів. Для зниження температури повітря робочого місця апаратника встановлюють припливні віконні вентилятори для подачі свіжого повітря.

Для поліпшення повітрообміну в перекриттях відділення влаштовують отвори площею не менше 10% від площі приміщення.

Усі ємності повинні мати повітряники, з'єднані з пастками пари.

Відділення повинне мати не менше двох виходів. Електромережа та електроустановки цього відділення повинні відповідати вимогам приміщень небезпечних у пожежо- та вибухонебезпечному відношенні та обладнатися аварійним електроосвітленням.

Вогневі роботи у відділенні можна проводити після повного звільнення від продуктів та заповнення водою всіх ємностей до переливу через горловини. Усі приміщення та поверхи повинні мати засоби парогасіння із запірним вентиляем поза приміщенням, ящики з піском, вогнегасники, кошики та ін. кислотні ємності, мірники та трубопроводи необхідно заземлювати для зняття зарядів статичної електрики. Опір заземлення – не більше 10 Ом.

Необхідні інструменти, ключі кранів, намітки, вікна для наміток повинні бути бронзовими, мідними або омедненими. За крайньої необхідності користування сталевим інструментом його рясно змащують солідолом.

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

При веденні перегонки не допускається порушення встановлених технологічних параметрів: температури, тиску в апаратах, швидкості процесу та ін.

Необхідно стежити за справністю манометрів (пружинних та водяних), термометрів, редукційного клапана, вакуум-переривників верхніх та нижніх, усіх апаратів, паро- та водорегуляторів. Особлива увага звертається на безперебійне постачання апарату охолоджувальною водою та вихідною сумішшю. Необхідно мати резервні насоси холодної води. Пожежний водопровід із гідрантами та викидними рукавами має бути постійно справним.

Відкривати люки апарата можна тільки після промивання апарату холодною водою. Приймне відділення необхідно обладнати сигналізацією, що запобігає переповненню ємностей.

5.2 Розрахунок заземлення апарата

Мета розрахунку заземлення – визначити число та довжину вертикальних та горизонтальних елементів (з'єднувальних шин) та розмістити заземлювач на плані електроустановки, виходячи з регламентованих ПУЕ величин допустимого опору заземлення, а також допустимої напруги дотику та кроку або максимального потенціалу заземлювача.

Визначимо розрахунковий питомий опір ґрунту з урахуванням кліматичного коефіцієнта

$$\rho_{\text{расч}} = \rho_{\text{изм}} \cdot \psi, \quad (5.1)$$

де $\rho_{\text{изм}}$ – питомий електричний опір ґрунту, отриманий шляхом вимірювання або з довідкових даних;

ψ – кліматичний коефіцієнт.

По таблиці [13] для суглинку при вологості 10÷12% $\rho_{\text{изм}} = 1 \cdot 10^2$ Ом·м; по таблиці значення розрахункового кліматичного коефіцієнта опору суглинку при середній вологості $\psi = 1,5$. Отже

$$\rho_{\text{расч}} = 1 \cdot 10^2 \cdot 1,5 = 1,5 \cdot 10^2 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Оскільки напруга електродвигуна $U_{\phi} = 380$ В ($U_{\phi} < 1000$ В), та вимога заземлювального пристрою за нормами ПУЕ

$$R_3 \leq 4 \text{ Ом}.$$

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

У мережах напругою до 1000 струм однофазного замикання на землю зазвичай не перевищує 10 А, т.к. при нормальному стані ізоляції та ємності опору фази щодо землі немає менше 1000 Ом, тобто. приймаємо струм замикання [13]

$$I_3 = 10 \text{ А.}$$

Потрібен опір заземлювального пристрою

$$R'_3 = \frac{U_\phi}{I_3} \quad (5.2)$$

$$R'_3 = \frac{380}{10} = 38 \text{ Ом,}$$

Так як $R'_3 > R_3 = 4 \text{ Ом}$, то остаточно приймаємо

$$R_3 = 4 \text{ Ом.}$$

Як природний заземлювач будемо використовувати металеві технологічні конструкції частково занурені в землю; розрахунковий опір розтіканню (з урахуванням сезонних змін) [13]

$$R_e = 15 \text{ Ом.}$$

Необхідний опір штучного заземлювача

$$R_{\text{и}} = \frac{R_e \cdot R_3}{R_e - R_3} \quad (5.3)$$

$$R_{\text{и}} = \frac{15 \cdot 4}{15 - 4} = 5,5 \text{ Ом.}$$

Приймаємо контурний тип заземлювача та розташовуємо його по периметру будівлі. Як стрижневі елементи приймаємо кутову сталь 50x50 мм, довжиною 2,5 м, що з'єднуються між собою сталевією смугою перетином 4x40 мм на глибині 80 см.

Провідність заземлювальних проводів усередині будівлі приймаємо згідно з вимогами ПУЕ не менше ніж 1/3 провідності фазних проводів.

Прийmemo довжину горизонтального заземлювача (смуги) $L = 30 \text{ м}$. Її опір струму, що розтікає, буде дорівнює

					<i>6.133.22.02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

$$R_{\Pi} = \frac{\rho_{\text{расч}}}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \cdot \frac{2 \cdot L^2}{b \cdot t} \quad (5.4)$$

$$R_{\Pi} = \frac{1,5 \cdot 10^2}{2 \cdot 3,14 \cdot 30} \cdot \ln \cdot \frac{2 \cdot 30000^2}{40 \cdot 800} = 7,3 \text{ Ом.}$$

Опір розтіканню одного стрижневого електрода

$$R_c = \frac{\rho_{\text{расч}}}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\ln \cdot \frac{2 \cdot L}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \cdot \frac{4 \cdot t + L}{4 \cdot t - L} \right) \quad (5.5)$$

$$R_c = \frac{1,5 \cdot 10^2}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \cdot \left(\ln \cdot \frac{2 \cdot 2500}{0,95 \cdot 50} + \frac{1}{2} \cdot \ln \cdot \frac{(1250 + 800) + 2500}{(1250 + 80) - 2500} \right) = 41 \text{ Ом.}$$

Чисельні значення R_{Π} і R_c підставляємо в рівняння, що визначає сумарний опір R_i паралельно з'єднаних опорів смугових та стрижневих електродів з урахуванням їхнього взаємного екранування

$$R_{\Pi} = \frac{R_{\Pi} \cdot R_c}{R_{\Pi} \cdot n \cdot \eta_c + R_c \cdot \eta_{\Pi}}, \quad (5.6)$$

Задаючи числом стрижневих електродів n , знаходимо по таблицях відповідні коефіцієнти екранування стрижневих та смугових електродів, тобто. η_c і η_{Π} , у яких вирішується наведене рівняння.

У даному випадку визначаємо n , при $\eta_c = 0,73$ і $\eta_{\Pi} = 0,56$.

$$5,5 = \frac{7,3 \cdot 41}{7,3 \cdot n \cdot 0,73 + 41 \cdot 0,56}$$

Звідси розрахункове значення $n = 10$, приймаємо $n = 15$, тоді опір штучного заземлювача

$$R_{\Pi} = \frac{7,3 \cdot 41}{7,3 \cdot 15 \cdot 0,73 + 41 \cdot 0,56} = 2,7 \text{ Ом}$$

Висновки: Обчислена кількість та довжина вертикальних елементів та сполучних шин забезпечує величину опору штучного заземлювача рівного 2,7 Ом.

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

ВИСНОВКИ

У цьому дипломному проекті проведено розрахунок виробництва солей хлорида калію.

Описані теоретичні основи процесу кристалізації, описана конструкція апарата та зроблений вибір матеріалів для виготовлення апарата. Приведений опис технологічної схеми установки з описом самого апарату та принцип його роботи.

Зроблені технологічні розрахунки.

Виконані розрахунки на міцність, опис монтаж та ремонт апарата. Приведена охорона праці на виробництві.

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Врагов А. П. Проектирование и расчет кристаллизационных установок с классифицирующими кристаллизаторами. Киев, 1988, 81 с.
2. Врагов А. П., Михайловский А. Е. Оптимизационное проектирование классифицирующих кристаллизаторов. Сумы, 2004, 97 с.
3. Хамский Е. В. Кристаллизация в химической промышленности. Москва, Химия, 1979, 344 с.
4. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Ленинград, Химия, 1976, 576 с.
5. Джон Г. Пери. Справочник инженера-химика, Ленинград, Химия, 1969, 576 с.
6. Матусевич Л. Н. Кристаллизация из растворов в химической промышленности. Москва, Химия, 1968, 304 с.
7. Ныват Я. Кристаллизация из растворов. Москва, Химия, 1974, 152 с.
8. Лебеденко Ю. П. Кристаллизация из растворов в химической промышленности. Ленинград, Химия, 1973, 148 с.
9. Михалев М. Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Ленинград, Машиностроение, 1984, 301 с.

					6.133.22.02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60