Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота бакалавра

рівень вищої освіти__перший (бакалаврський) рівень_____

на тему__Удосконалення технології хлорування титанових шлаків

Виконав: студент _*4*_курсу, гр. *6.1363-м*
___Радченко Антон Григорович
(ПІБ) (підпис)
спеціальності
____*136 Металургія*_____
(шифр і назва)
спеціалізація
_____
(шифр і назва)
освітньо-професійна програма
*Металургія*__
(шифр і назва)

Керівник _Карпенко Г.В._____
(прізвище та ініціали) (підпис)
Рецензент Нестеренко Т.М.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя - 2026 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра *металургійних технологій, екології та техногенної безпеки*

Рівень вищої освіти *перший (бакалаврський) рівень*

Спеціальність *136 металургія*
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма *металургія*
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри *МТЕТБ*
Ю.О. Бєлоконь

"____" _____2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Радченко Антону Григоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проєкта) Удосконалення технології хлорування титанових шлаків
керівник роботи (проєкту) *Карпенко Г.В., к. т. н., доц.*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від "23" грудня 2025 року № 1831-с
2. Строк подання студентом роботи (проєкта) *28.05.2026 р.*
3. Вихідні дані до роботи (проєкта) *науково-технічна література, періодичні видання за фахом, патентний пошук.*
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)*: 1 Основні методи хлорування титанового шлаку; 1.1 Хлорування у шахтних електропечах; 1.2 Хлорування у шахтних хлораторах безперервної дії; 1.3 Хлорування в шахтних хлораторах киплячого шару; 1.4 Хлорування у розплаві хлоридів лужних металів; 2 Розрахунок матеріального та теплового балансу процесу хлорування; 2.1 Розрахунок кількості коксу, що витрачаються, анодного хлорного газу, відпрацьованого електроліту та одержуваних продуктів хлорування зі складанням матеріального балансу; 2.2 Розрахунок кількості хлораторів та їх розмірів; 2.3 Розрахунок теплового балансу хлоратора 3 Охорона праці та техногенна безпека; 3.1 Техніка безпеки цеху хлорування; 3.2 Розрахунок тиску під час вибуху тетрахлориду титану.*

5 *Презентаційний матеріал 13 слайдах (на 13 сторінках)*

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
1. Основні методи хлорування титанового шлаку	*Карпенко Г.В., доцент кафедри*	
2. Розрахунок матеріального та теплового балансу процесу хлорування	*Карпенко Г.В., доцент кафедри*	
3 Охорона праці та техногенна безпека	*Карпенко Г.В., доцент кафедри*	
Нормоконтроль	*Бєлоконь Ю.О., завідувач кафедри*	

7. Дата видачі завдання: *01.03.2025 р.*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Основні методи хлорування титанового шлаку*		
2	*Розрахунок матеріального та теплового балансу процесу хлорування*		
3	*Охорона праці та техногенна безпека*		

Студент _____ *А.Г. Радченко*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ *Г.В. Карпенко*
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи: 65 с., 3 частини, 8 рисунків, 2 таблиці, 20 посилань.

ТИТАН, ХЛОР, ХЛОРАТОР, ТИТАНОВИЙ ШЛАК, ДІЛЬНИЦЯ ХЛОРУВАННЯ, ПАРОГАЗОВА СУМІШ.

Мета роботи – розрахувати відділення хлорування у складі цеху для отримання тетрахлориду титану відповідно до завдання

У загальній частині розглянуто теоретичні основи існуючих технологій отримання тетрахлориду титану, зроблено вибір технологічної схеми виробництва для проєктованого відділення.

У спеціальній частині наведено розрахунки матеріального та теплового балансу процесу хлорування, а також виконано розрахунок соляного хлоратора. Зроблено вибір основного та допоміжного обладнання.

У розділі «Охорона праці та техногенна безпека» розроблено методи охорони праці, промислової санітарії та протипожежної безпеки. Також наведено розрахунок тиску при вибуху суміші оксиду вуглецю.

ЗМІСТ

ВСТУП 6
1 ОСНОВНІ МЕТОДИ ХЛОРУВАННЯ ТИТАНОВОГО ШЛАКУ 8
1.1 Хлорування у шахтних електропечах 8
1.2 Хлорування у шахтних хлораторах безперервної дії 13
1.3 Хлорування в шахтних хлораторах киплячого шару 15
1.4 Хлорування у розплаві хлоридів лужних металів 18
2 РОЗРАХУНОК МАТЕРІАЛЬНОГО ТА ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ ПРОЦЕСУ ХЛОРУВАННЯ 25
2.1 Розрахунок кількості коксу, що витрачаються, анодного хлорного газу, відпрацьованого електроліту та одержуваних продуктів хлорування зі складанням матеріального балансу 25
2.2 Розрахунок кількості хлораторів та їх розмірів 37
2.3 Розрахунок теплового балансу хлоратора 39
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 48
3.1 Пропозиція щодо усунення недоліків 50
3.2 Основні шкідливості та небезпеки 52
3.3 Виробнича санітарія 56
3.4 Протипожежна безпека 57
3.5 Розрахунок тиску під час вибуху 59
ВИСНОВКИ 61
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 64

ВСТУП

У зв’язку з розвитком нових галузей промисловості виникла необхідність у таких рідкісних металах, як титан, ніобій, тантал, цирконій, ванадій, германій, кремній та ін. У вихідній сировині ці метали, як правило, перебувають у окисленій формі. Відсутність задовільних методів отримання рідкісних металів безпосередньо з їх оксидів стала причиною бурхливого розвитку хлорної металургії. При розкритті вихідної сировини хлором утворюються хлориди. Хлориди рідкісних металів є активними сполуками, які легко очищуються та перетворюються на метали, оксиди й інші речовини, що мають самостійне значення.

Тетрахлорид титану ($TiCl_4$) - типовий продукт хлорної металургії. Промислове виробництво $TiCl_4$ у нашій країні було першим у хлорній металургії рідкісних металів. Його освоєння засвідчило народження хлорної металургії як самостійної галузі промисловості. Основи технології та апаратурне оформлення процесів виробництва тетрахлориду титану стали фундаментом для подальшої розробки й упровадження хлорних методів отримання інших рідкісних металів.

Промислове виробництво $TiCl_4$ організовано на титаномагнієвих комбінатах. У менших масштабах його як побічну продукцію отримують при хлоруванні лопаритового концентрату — джерела сполук ніобію, танталу та рідкісноземельних металів.

Завдяки багатьом своїм винятковим властивостям титан став найважливішим конструкційним матеріалом у вітчизняній техніці. Держава підтримала розвиток титанової промисловості, стимулювала споживання титану різними галузями та забезпечила тим самим умови, коли нарощування обсягів виробництва сприяло зниженню витрат і вартості титанових напівфабрикатів, а це, у свою чергу, робило титан дедалі доступнішим для широкого застосування.

На початок нинішньої кризи обсяг промислового виробництва титану та його сплавів у нашій країні перевищив загальний рівень виробництва

США, Японії, Англії, Німеччини, Франції, КНР. Була розроблена й освоєна у промислових масштабах широка номенклатура сплавів, злитків і напівфабрикатів, яка, попри певні розбіжності у стандартах, за багатьма аспектами відповідала світовому рівню якості.

Накопичений значний досвід у машинобудуванні вже значною мірою сприяв руйнуванню міфу про титан як матеріал, незручний для механічної обробки, зварювання, формування тощо. Підсумовуючи викладене, можна стверджувати, що в Україні були створені всі умови для прориву титану на рівень широкого загальнопромислового застосування.

1 ОСНОВНІ МЕТОДИ ХЛОРУВАННЯ ТИТАНОВОГО ШЛАКУ

У промисловій практиці для хлорування титановмісної сировини застосовують чотири методи:

- хлорування брикетованої шихти у шахтних електропечах;
- хлорування брикетованої шихти у шахтних хлораторах безперервної дії;
- хлорування подрібненої або гранульованої шихти в киплячому шарі;
- хлорування подрібненої шихти у розплаві хлоридів.

Зупинимося більш докладно на цих способах розтину сировини, що містить титан.

1.1 Хлорування у шахтних електропечах

Хлорування титановмісної сировини в шахтних електропечах донедавна було одним з основних промислових способів отримання технічного тетрахлориду титану. Цей спосіб слід називати способом хлорування брикетованої титановмісної сировини в шахтній електропечі в нерухомому шарі. Спосіб складається з двох основних переділів.

1 Підготовка сировини у вигляді брикетів із титанового шлаку та коксу, придатних для хлорування. Сюди входять операції дроблення, розмелювання, дозування, змішування, брикетування, сушіння та прожарювання.

2 Безпосередньо хлорування брикетів у шахтній електропечі 100% хлором або анодним хлоргазом.

Принципова технологічна схема хлорування титанового шлаку у шахтній електропечі наведена малюнку 1.1. Подрібнений титановий шлак повинен містити щонайменше 90 % фракції - 0,105 мм. Переподрібнення шлаку небажане через збільшення витрат на пиловловлення та зниження продуктивності помольних та змішувальних апаратів. Як відновник

застосовують пековий або нафтовий кокс. Оптимальна крупність помелу коксу: (90-95) % фракції (0,1-0,16) мм.

Сполучними для брикетування можуть бути сульфітцелюлозний луг, кам'яновугільний пек або патока. На практиці в основному застосовують сульфітцелюлозний луг, як більш дешевий, менш дефіцитний та зручний у роботі. Найбільш міцні брикети виходять з кам'яновугільним пеком, але через високу токсичність та підвищені вимоги при змішуванні та брикетуванні кам'яновугільний печ у виробництві замінили лугом.

Шихту для брикетів дозують із розрахунку (20-25) % коксу, (10-14) % сполучного, решта - титановий шлак.

Залежно від обладнання для брикетування, що застосовується, і від вологості шихти змінюють дозування сполучного. Так, при брикетуванні навальцекольцевом пресі, що допускає великі питомі тиску, кількість сполучного може бути зменшено до 5%, при пресуванні на осередковому пресі кількість лугу збільшують до (12-14)%. Кількість вологи в шихті має перевищувати 3 %.

Шихту ретельно перемішують з одночасним підігрівом до (80-120)°С потім передають на брикетування. Сирі брикети сушать при 120°С і коксують в прожарених апаратах періодичної або безперервної дії. Залежно від роду сполучного температура коксування може становити (600-900) °С. Коксування проводять з метою найбільш повного видалення летких, щоб уникнути непотрібної витрати хлору при хлоруванні та забруднення тетрахлориду титану органічними домішками.

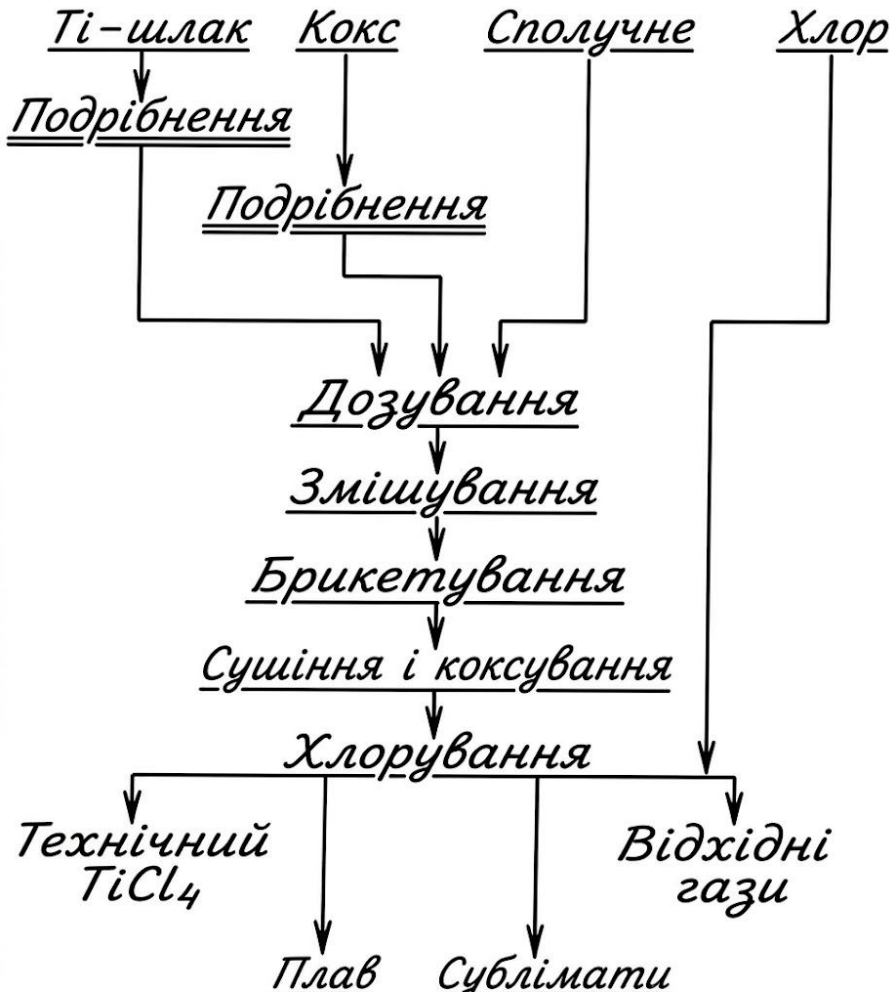
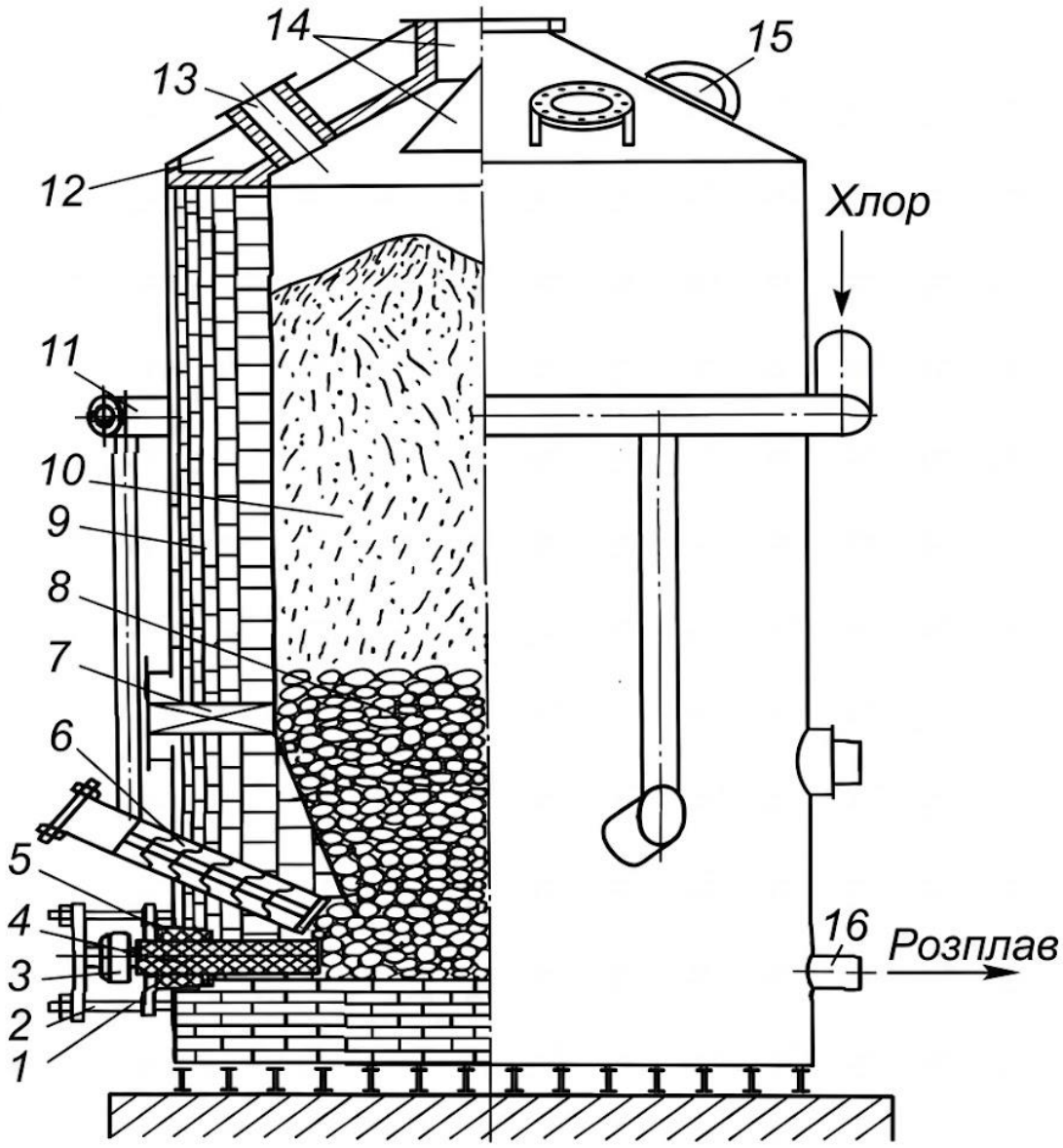


Рисунок 1.1 – Технологічна схема хлорування титанового шлаку в шахтній електропечі

Найбільш економічні і продуктивні прокатувальні ретортні печі безперервної дії з повторним використанням в них летючих як додаткове паливо.

Основні вимоги до коксованих брикетів такі: міцність (300-500) кг/брикет, вміст летких не більше 0,3%, вуглецю (24-29)%, температура охолоджених брикетів, що вивантажуються, - не вище 300°С. Коксовані охолоджені брикети хлорують у шахтній електропечі (ШЕП) (рисунок 1.2).



1 – тяги кріплення електродів; 2 – траверса; 3 - водоохолоджуваний кесон; 4 – електрод; 5 - сальникове ущільнення; 6 – фурма; 7 – очисний лаз; 8 – вугільна насадка; 9 - футерування; 10 – шахта печі; 11 - хлорне кільце; 12 – кришка печі; 13 - патрубок для відведення парогазової суміші; 14 – розподільчий конус; 15 – вибуховий клапан; 16 – льотка для зливу розплаву.

Рисунок 1.2 – Схема шахтної електропечі

По висоті шахтну електропіч умовно поділено на три зони. У нижній зоні накопичуються продукти хлорування (розплав), непрохлорований залишок (огарок) та вугільна (криптонова) насадка для попереднього розігріву печі та підтримки температури в цій зоні в межах (700-750) °С. Розплав, що складається в основному з (60-70) % CaCI2, (30-35) % $MgCI_2$ та (1-2) % $FeCI_2$, збирається у вугільній насадці і періодично у рідкому вигляді випускається через нижню льотку. Непрохлорований залишок приблизного складу: (20-30) % TiO_2, (8-15) % SiO_2, (18-25) % С, (4-5) % Al_2O_3, (1,5-2,0) % Fe_2O_3 і 0,5 % CaO в міру накопичення через (2-5) місяці процесу видаляють. Це визначає періодичність процесу хлорування в шахтних електропечах.

Середня зона — місце безпосередньо хлорування, де хлорується переважна більшість брикетів при (1000-1100)°С. Така температура підтримується екзотермічним теплом реакцій. У міру накопичення непрохлорованого залишку середня реакційна зона поступово переміщається вгору. Висока температура процесу хлорування, обумовлена специфікою шахтної електропечі, призводить до перебігу реакцій хлорування оксидів з переважанням вибухонебезпечного оксиду вуглецю, що утворюється, і невеликою кількістю CO_2. Тому одна з обов'язкових умов роботи електропечі та системи конденсації - застосування надлишкового тиску, щоб уникнути підсмоктування повітря та можливих вибухів. У зоні реакції утворюється розплав, леткі газоподібні хлориди ($TiCl_4$, $AICI_3$, $FeCI_3$, $SiCI_4$, $VOCI_3$, CCI_4, $COCI_2$ та ін.) та неконденсовані гази (CO, CO_2, N_2, O_2, HCI та ін). Розплав стікає у простір між елементами вугільної насадки, а газоподібні продукти, піднімаючись нагору, підігрівають верхній шар шихти до (600-700)°С.

Верхній шар шихти і підзвідний простір складають верхню зону шахтної електропечі, в якій відбуваються різні обмінні реакції між компонентами парогазової суміші, що виходить із зони реакції, і шихтою. Зона підігріву брикетів у міру збільшення шару непрохлорованих залишків і підйому зони реакції поступово зменшується, що впливає на перебіг

вторинних реакцій і склад парогазової суміші, що відходить.

Однією з ознак зменшення допустимої висоти зони підігріву є різке збільшення кількості хлору в газах, що відходять, і підвищення виходу твердих суспензій з технічним тетрахлоридом титану. Парогазова суміш, що утворюється в шахтній електропечі, надходить у систему конденсації. Конструкція шахтної електропечі проста і відносно проста в експлуатації. Вона дозволяє застосовувати різну сировину, що містить титан, змінювати в широкому діапазоні продуктивність і швидко зупиняти процес хлорування в разі необхідності.

Однак невисока продуктивність, періодичність процесу, ручне вивантаження непрохлорованого залишку (огарка) та нерідкі випадки утворення локальних вогнищ реакції з великими проскоками хлору та заплавленням шихти зажадали створення більш продуктивного та безперервного апарату. На зміну шахтним електропечам прийшли шахтні хлоратори безперервної дії.

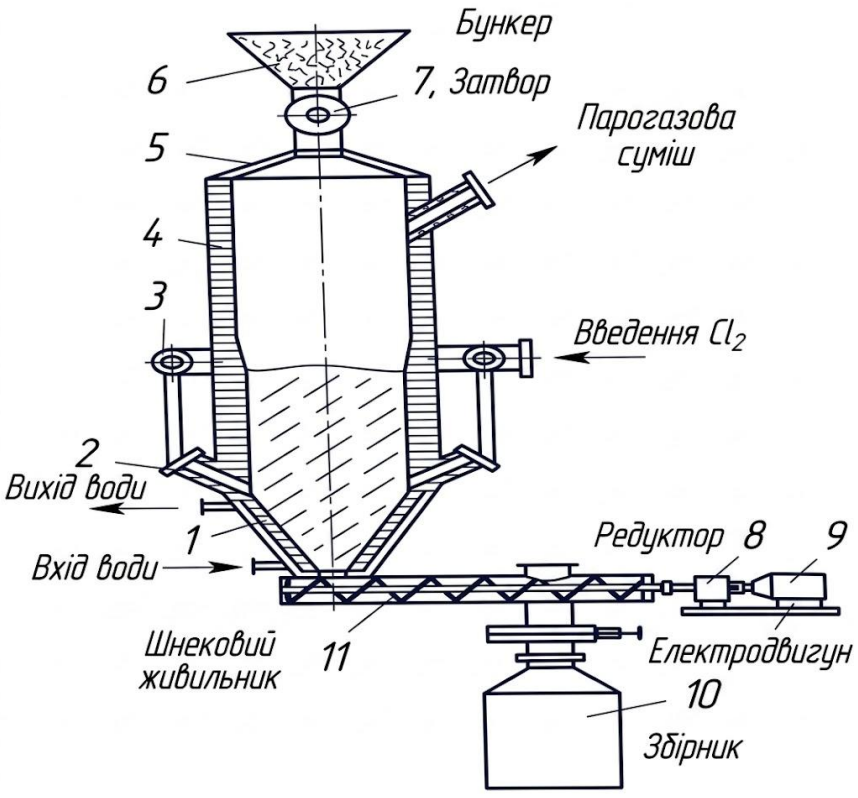
1.2 Хлорування у шахтних хлораторах безперервної дії

Шахтні хлоратори безперервної дії для хлорування брикетованої або гранульованої шихти є прогресивнішими порівняно з шахтними електропечами, і тому їх застосовують замість ШЕП. Цій заміні сприяло також підвищення якості титанових шлаків, у яких значно знизився вміст CaO та MgO. Шахтний хлоратор (малюнок 1.3) є циліндр діаметром (1,5-2,0) м і висотою до 10 м, футерований шамотною цеглою. Нижня частина циліндра виконана у вигляді конуса і футерована, як правило, жаротривким бетоном. У конусну частину трохи вище розвантажувального отвору подають хлоргаз.

Пуск та робота шахтного хлоратора проводиться у наступному порядку. Після сушіння та розігріву футерування (газом, мазутом, дровами та ін.) в хлоратор завантажують подрібнений кокс і підпалюють. Для

кращого горіння коксу та підйому температури по хлорним фурм подають повітря. На шар коксу вантажать титановмісні брикети. У міру горіння коксу з нижньої частини хлоратора безперервно вивантажують золу, а зверху підвантажують брикети. При досягненні в шарі брикетів температури (900-1000) ° С (зона реакції) замість повітря по фурм подають хлор, і починається власне процес хлорування.

При нормальній роботі шахтного хлоратора безперервно ведуть завантаження брикетів зверху та вивантаження непрохлорованого залишку знизу. Ці операції ведуть з розрахунку, що всі три зони (підігріву, реакції та непрохлорованого залишку) знаходяться на одному рівні. Температурний режим процесу хлорування забезпечується теплом екзотермічних реакцій. Відведення надлишкового тепла та охолодження вигаруваного недогарка здійснюють підбором товщини футерування та водою.



1 -водоохолоджуваний конус; 2 – фурма; 3 – хлорний колектор; 4 – корпус; 5 - водоохолоджуване склепіння; 6 – бункер; 7- золотниковий живильник; 8 – редуктор; 9 – електродвигун; 10 - кюбель для недогарка; 11 – розвантажувальний шнек.

Рисунок 1.3 – Схема шахтного хлоратора безперервної дії

Відсутність електрообігріву, безперервність вивантаження недогарка, регульований відвід тепла дозволяють значно підвищити продуктивність хлорування, механізувати практично всі операції та створити можливість автоматизації всього процесу. У шахтному хлораторі тривалість кампанії визначається лише зносом футерування, тобто. часом між капітальними ремонтами. Однак шахтному хлоратору, як і ШЕП, притаманний один серйозний недолік необхідність застосування брикетованої або гранульованої шихти: при цьому до гранул пред'являють підвищені вимоги щодо крупності та механічних властивостей.

Дозування перед змішуванням, змішування складових шихти, брикетування (гранулювання), сушіння та коксування значно ускладнюють технологію та підвищують вартість тетрахлориду титану. Потрібно також враховувати, що технологія хлорування потребує постійного контролю складу шихти та його оперативного коригування. При застосуванні брикетованої (гранульованої) шихти цю вимогу виконати важко, а в деяких випадках неможливо. Використання сипучої шихти дозволяє швидко змінювати склад суміші, що хлорується, за вмістом TiO_2 і вуглецю і автоматизувати процес хлорування.

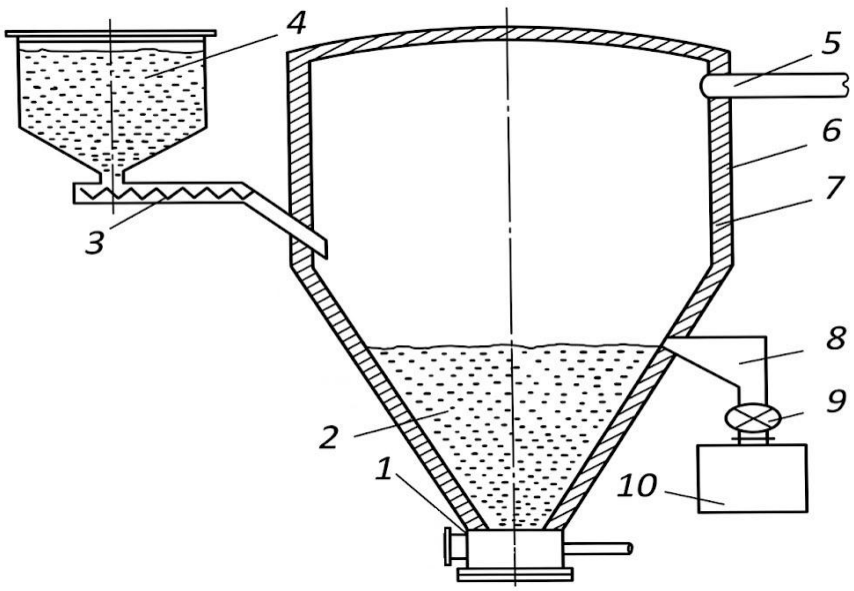
1.3 Хлорування в шахтних хлораторах киплячого шару

Використання киплячого або псевдозрідженого шару для хлорування шихти, що містить, шихти давно приваблювало вчених і інженерів-виробників. Із зарубіжної інформації відомо, що США широко використовують киплячий шар при хлоруванні рутила. Відсутність легкоплавких домішок у рутилі та відносно рівномірний гранулометричний склад дозволяють порівняно легко здійснити хлорування в киплячому шарі у промисловому масштабі.

Процес здійснюють при такій швидкості газового потоку по перерізу

шару шихти, що частинки перебувають у зваженому стані. Швидкість газового потоку, коли виважена частка перетворюється на статичний стан і шар шихти перестає "кипіти", називається критичної швидкістю. Отже, стійке "кипляче" стан шихти можливе при швидкості вище критичної.

Конструкція хлоратора для хлорування в киплячому шарі (рисунок 1.4) представляє ту ж шахтну піч круглого або овального перерізу, але з площею поперечного перерізу, що поступово (або ступінчасто) збільшується для збереження по всій висоті шару шихти швидкості газового потоку вище критичної. Зверху на шар чи під шар шихти безперервно завантажують, свіжу шихту, знизу з конусної частини, вивантажують огарок. Для виключення або зменшення пиловиносу з шару шихти перетин внутрішньої шахти над шаром шихти роблять значно більшого розміру, що дозволяє зменшити швидкість газового потоку нижче критичної (для найдрібніших частинок пилу). Парогазову суміш, що утворюється при хлоруванні, виводять через склепіння хлоратора.



1- фурми; 2 - киплячий шар; 3 - шнековий живильник; 4 – бункер для шихти; 5 – газохід для парогазової суміші; 6 – кожух хлоратора; 7 - футерування (шамот, динас); 8 - тічка для вивантаження недогарка; 9 - живильник; 10 - збірка недогарка.

Рисунок 1.4 – Схема хлоратора киплячого шару

Для хлорування в киплячому шарі застосовують мелену або гранульовану шихту, що є сумішшю титановмісної сировини і коксу. Гранули готують із шихти, що складається з частинок малого розміру. Переподрібнення титановмісної сировини і коксу неприпустимо.

Температурний режим і хімізм процесу хлорування в киплячому шарі переважно такі ж, як і шахтному хлораторі з рухомим здаєм. Але в порівнянні з шахтним хлоратором хлорування в киплячому шарі має такі переваги, як більш висока швидкість процесу, більш рівномірна температура процесу перерізу через кращого маса і теплообміну шихти і газу.

Наявність у титановмісній сировині оксидів магнію і кальцію ускладнює створення стійкого киплячого шару. Легкоплавкі хлориди, що утворюються, обволікають шихту (сплавляють), призводять до нориці в шарі шихти і великому "проскоку" хлору. Для створення стійкого киплячого шару знижують температуру, значно збільшують частку коксу в шихті. Киплячий шар має такі специфічні недоліки

- при кипінні шару шихти має місце переміщення непрохлорованих частинок шихти в нижню зону, в результаті чого в негарі, що вивантажується, міститься підвищена кількість TiO_2;

- підвищений знос футерування стінок;

- розтягнута по висоті зона реакції через більш інтенсивний теплообмін по висоті.

Через перераховані та інші недоліки хлорування в апаратах киплячого шару не знайшло широкого застосування. Однак дослідження у цьому напрямі продовжуються як у нашій країні, так і за кордоном.

1.4 Хлорування у розплаві хлоридів лужних металів

Широке застосування отримав метод хлорування подрібненої шихти у розплаві хлоридів лужних металів. Цей спосіб у порівнянні з іншими має ряд переваг:

- спрощується технологічна схема підготовки шихти завдяки виключенню переділів брикетування та коксування;

- інтенсивний барботаж забезпечує ефективний маса та теплообмін, і високу питому продуктивність. Найпростіше вирішується питання терморегулювання процесу;

- спрощується процес конденсації тетрахлориду титану за рахунок збільшення його парціального тиску парогазової суміші;

- через можливість ведення процесу при більш низькій температурі технічний $TiCl_4$ менше забруднюється хлоридами алюмінію, заліза, кремнію, сірку та вуглецевмісними органічними домішками, що полегшує подальше його очищення;

- висуваються менш жорсткі вимоги до титанової сировини щодо вмісту оксидів натрію, калію, магнію та кальцію;

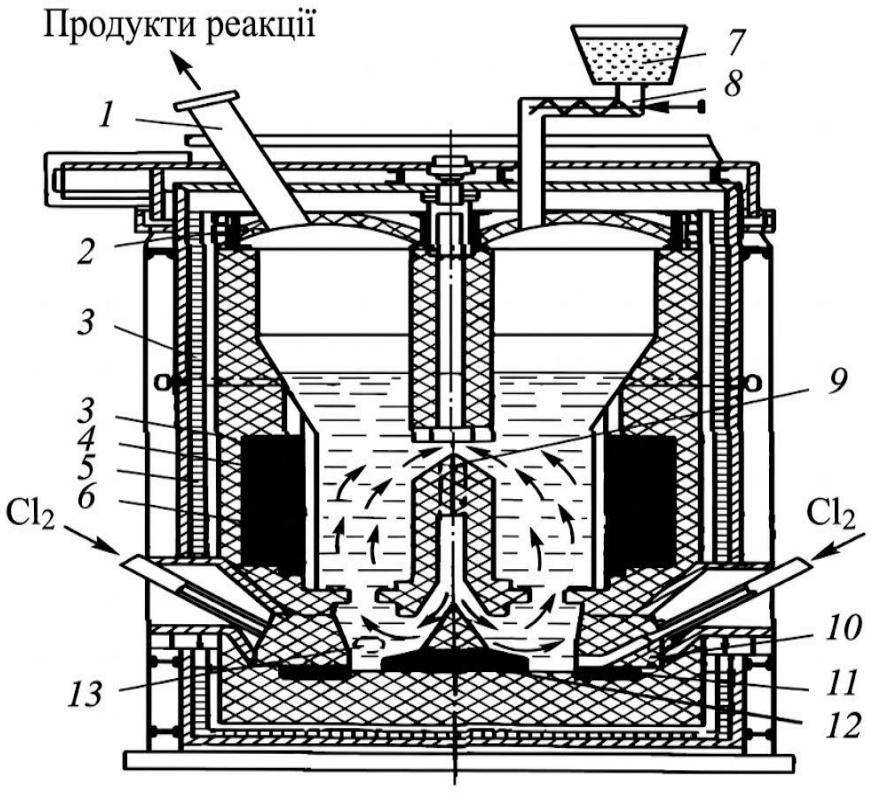
- процес хлорування у розплаві йде переважно з утворенням CO_2, а не CO, що виключає утворення вибухонебезпечних сумішей та спрощує експлуатацію обладнання.

Вперше патент на хлорування матеріалів серед розплавлених хлоридів отримав німецький вчений Ешкрофт в 1917 р. У 1939 р. С.П. Соляковым на Солікамському магнієвому заводі розпочато роботу з хлорування оксиду магнію в розплаві хлоридів. Робота завершилася створенням промислового хлоратора для хлорування магнію оксиду в карналіті. Накопичений досвід хлорування оксиду магнію дозволив у 1954 р. Надалі метод був значно вдосконалений на низці вітчизняних заводів та у науково-дослідних інститутах.

Сольовий хлоратор (рис. 1.5) являє собою сталевий кожух,

футерований шамотною цеглою. У бічних стінках хлоратора закладені графітові електроди, всередину яких вставлені порожнисті водоохолоджувані штанги. У період пуску хлоратора електроди підключають до трансформатора змінного струму для розігріву залитого хлоратор розплаву. У нижній зоні хлоратора є спеціальні фурми та розподільники для подачі хлору.

Для зливу розплаву служать нижні та верхні льотки. Як робоче середовище використовують хлориди лужних металів. Зверху у склепінні хлоратора є отвори для відведення парогазової суміші та подачі розмеленої сухої шихти. Кількість шихти, що подається, автоматизовано за допомогою спеціальних дозуючих пристроїв.



1 - газохід; 2 - склепіння; 3 – графітовий електрод; 4 - водоохолоджувальна штанга; 5 – кожух; 6 - шамотне футерування; 7 - бункер із шихтою; 8 - шнековий живильник; 9 – перегородка для створення циркуляції розплаву; 10 - фурма; 11 та 12 - донні графітові електроди; 13 – нижній злив розплаву.

Рисунок 1.5 – Схема сольового хлоратора

Процес хлорування ведуть інтервалі температур (700-800)°С. По досягненню нормальної температури штанги електродів подають воду для відведення надлишкового тепла екзотермічних реакцій хлорування. Після встановлення нормального режиму, електроди відключають від трансформатора. Безперервне відведення надлишкового тепла, періодичний виведення з відпрацьованим розплавом недогарка дозволяють значно інтенсифікувати процес та забезпечити рівномірну безперервну роботу хлоратора. Кількість газів, що відходять при хлоруванні в розплаві значно менше, ніж при інших способах, внаслідок того, що кисень оксидів шихти і анодного хлоргазу зв'язується вуглецем переважно до CO_2. Це сприятливо впливає роботу конденсаційної системи.

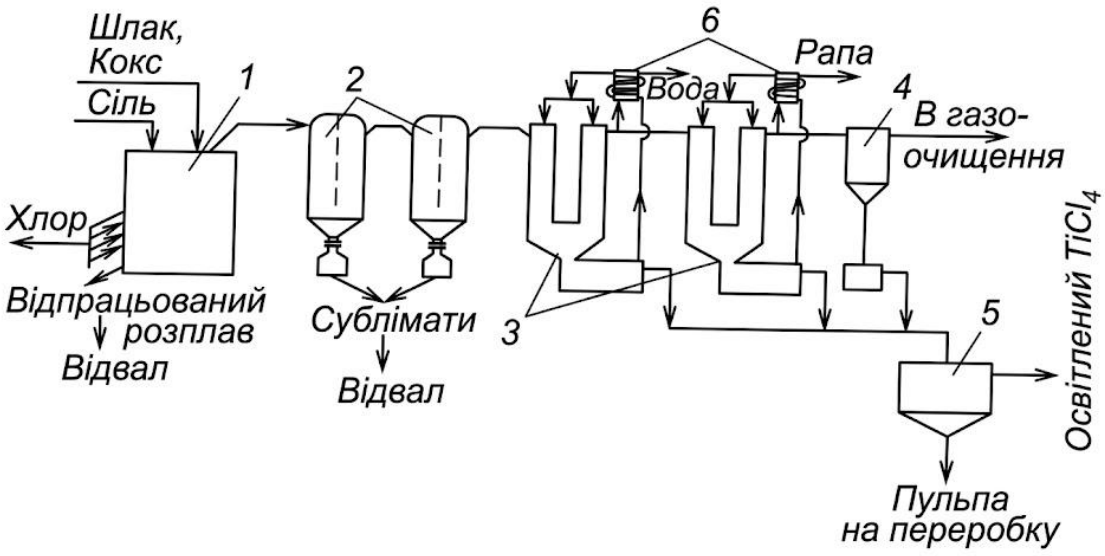
При хлоруванні в розплаві хлоридів титановмісна сировина і кокс знаходяться у зваженому стані рівномірно по всьому об'єму розплаву. Хлор, що подається в нижню зону при надмірному тиску ~ 70 кПа під кутом до поділи, дробиться на дрібні бульбашки, які сорбуються на поверхні вуглецю і взаємодіючи з оксидами, сприяють безперервному барботажу розплаву. Цю ж роль виконують газоподібні продукти реакцій хлорування, що виділяються. Рівень розплаву в хлораторі підтримують таким, щоб хлор встиг повністю прореагувати обсягом розплаву. В основному хлор використовується повністю.

Виходячи з вище викладеного вибираємо апаратурно-технологічну схему хлорування у розплаві хлоридів лужних металів.

Для забезпечення якісного процесу хлорування обрана схема хлорування у розплаві хлоридів лужних металів показана на рисунку 1.6.

Хлорування – це процес, у якому хлор взаємодіє з оксидом металу чи іншими їх сполуками, утворюючи хлорид чи оксихлорид металу. Хлор у своїй заміщає кисень в оксиді.

Хлориди металів мають різну температуру плавлення та кипіння, що дозволяє в процесі хлорування та конденсації виділити порівняно чистий тетрахлорид титану.



1 -хлоратор; 2 – пилові камери – сухі конденсатори; 3 – зрошувальні конденсатори; 4 - краплеуловлювач; 5 - згущувач Дорра; 6 - теплообмінники типу "труба у трубі".

Рисунок 1.6 – Апаратурно-технологічна схемахлорування в розплаві хлоридів лужних металів

Процес хлорування оксиду можна виразити рівнянням:

$$MeO + Cl_2 = MeCl_2 + 1/2O_2. \quad (1.1)$$

Реакції хлорування оборотні та їх напрями залежить від хімічної міцності вихідних речовин та кінцевих продуктів реакції. Реакція хлорування оксидів MeO, TiO_2, Al_2O_3, SiO_2:

$$TiO_2 + 2Cl_2 + C = TiCl_4 + CO_2 + Q \text{ ккал.} \quad (1.2)$$

$$TiO_2 + 2Cl_2 + 2C = TiCl_4 + 2CO_2 + Q \text{ ккал.} \quad (1.3)$$

$$MeO_2 + 2Cl_2 + C = MeCl_4 + CO_2 + Q \text{ ккал.} \quad (1.4)$$

Перша стадія - сорбція хлору вуглецем та компонентами розплаву, що мають більшу спорідненість до хлору, ніж діоксид титану.

При цьому молекулярний хлор перетворюється на активну атомарну форму:

$$3 + 2Cl_2 = 3 + 4Cl \quad (1.5)$$

Друга стадія - атомарний хлор взаємодіє з діоксидом титану з утворенням тетрахлориду титану та атомарного кисню:

$$TiO_2 + 2Cl_2 = TiCl_4 + O_2 \quad (1.6)$$

Третя стадія - атомарний кисень реагує з вуглецем з утворенням CO_2 та CO:

$$2O + C = CO_2 \quad (1.7)$$

$$\text{Про} + 3 = CO \quad (1.8)$$

Оскільки титан має змінну валентність, друга стадія може протікати східчасто, тобто. з утворенням трихлориду титану:

$$TiO_2 + 3Cl = TiCl_3 + 2O \quad (1.9)$$

$$TiCl_3 + Cl = TiCl_4 \quad (1.10)$$

Швидкість хлорування діоксиду титану залежить від багатьох факторів: температури процесу, активності хлорованих оксидів, виду відновника хлоруючого агента, природи розплаву, аналітичних властивостей компонентів, що беруть участь у реакції, швидкості подачі та концентрації хлору і т.д. Зазвичай шихта, що використовується в якості титанової сировини, має складний склад: крім оксидів титану в ній присутній вуглець, оксиди заліза, марганцю, алюмінію, ванадію, кремнію та інших металів, які по-різному впливають на процес хлорування. Таким чином, хімізм процесу хлорування надзвичайно складний та обумовлений

багатокомпонентним складом шихти та присутністю різних речовин, що впливають на процес хлорування.

Як рідка ванна в хлораторі використовується хлориди лужноземельних металів. Шихту, що складається з розмеленого титанового шлаку та коксу, завантажують у розплав на поверхню. При хлоруванні в сольовому хлораторі титановмісний шлак і значна частина коксу знаходиться в розплаві у зваженому стані, причому легший вуглецевий відновник концентрується переважно у верхніх шарах сольової ванни, а шлак розподіляється відносно рівномірно по всьому об'єму розплаву. Газоподібний хлор або анодний хлоргаз магнієвих електролізерів подається в розплав через фурми знизу. У зоні надходження хлору відбувається інтенсивне перемішування розплаву та газоподібного хлору, дроблення газового потоку на дрібні бульбашки, насичення розплаву хлором.

Газові бульбашки, поступово піднімаючись до верхніх шарів розплаву, зустрічаються з частинками шлаку та коксу, захоплюють їх і за рахунок сил поверхневого натягу утримують на межі розплаву. Газоподібний, що знаходиться всередині бульбашки, а також і розчинений у розплаві хлор, реагує із зернами шлаку, утворюючи відповідні хлориди.

В умовах хлорування титанової сировини у присутності відновника утворюються деякі сполуки, які беруть активну участь у процесі хлорування: хлористий водень (HCl), фосген ($COCl_2$), дихлорид сірки (SCl_2), тетрахлорид вуглецю (CCl_4).

При роботі хлоратора без порушень технологічного режиму - без «проскоків» хлору через розплав, фосген у газах, що відходять, практично не виявляється.

Парогазова суміш, що утворюється в процесі хлорування, направляється на відділення і конденсацію тетрахлориду титану. Так як на виході з хлоратора ПГС має температуру (500-800)ºС, основна частина хлоридів знаходиться в газоподібному і конденсовано (пароподібному) вигляді. Гази та хлориди, що мають температуру кипіння нижче за

температуру парогазової суміші захоплюють з хлоратора частину висококиплячих хлоридів магнію, марганцю, хрому, кальцію, натрію, калію.

Для поділу хлоридів застосовують процес конденсації, при якому речовини пароподібного стану переходять у рідкий або твердий стан. Процес конденсації супроводжується виділенням тепла, яке має відводитися. Тому конденсаційна система складається з різних теплообмінних, пилу, краплеуловлювальних та розділових апаратів. Так як у парогазовій суміші міститься близько 70% (об'ємних) неконденсованих газів, то з цими газами може безповоротно губитися значна кількість $TiCI_4$. Тому для більш повної конденсації після першого ступеня відведення тепла водою, охолодження здійснюється розсолами, що мають температуру від -15 до -20ºС. Значна частина конденсованої пульпи тетрахлориду титану повертається для зрошення парогазової суміші безпосередньо на виході з хлоратора. Зрошення поворотною пульпою практично дозволяє виводити всі тверді хлориди та інші частинки, які ПГС, що відносяться, безпосередньо з відпрацьованим розплавом хлоратора, а основний продукт ($TiCl_4$) повторно повернути в систему конденсації. Крім того, контактування пульпи з розплавом дозволяє, також, вивести з хлоратора з газами, що утворилися з пульпи, додаткову кількість тепла, і отже, регулювати і підтримувати температуру розплаву в заданих межах.

Для відділення твердих домішок сконденсованого тетрахлориду титану використовують згущувачі (відстійники). Освітлена частина - технічний тетрахлорид титану, що містить (0,1-0,15)% ванадію, (0,001-0,02)% кремнію, (0,07-0,15)% хлору, (0,003-0,25)% суми фосгену та хлорацег-0, передається з ділянки хлорування на ділянку ректифікації для очищення домішок.

У зв'язку з викладеним вище вибираємо метод хлорування в розплаві хлоридів лужних металів.

2 РОЗРАХУНОК МАТЕРІАЛЬНОГО ТА ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ ПРОЦЕСУ ХЛОРУВАННЯ

Розрахувати процес та хлоратор для хлорування 130 т/добу титанового шлаку наступного складу, %: 82,1 TiO_2; 2,31 SiO_2; 4,1 $A1_2O_3$; 1,0 MnO; 2,0 MgO; 1,35 CaO; 0,34 V_2O_5; 5,3 FeO; 1,5 Cr_2O_3.

Продуктивність хлоратора 100 т/сут $TiCl_4$.

2.1 Розрахунок кількості кокса, що витрачаються, анодного хлорного газу, відпрацьованого електроліту та одержуваних продуктів хлорування зі складанням матеріального балансу

Склад матеріалів, що надходять у процесі хлорування:

- пековий кокс, % (за масою): 93,45 C; 3,52 леткі; 2,33 зола; 0,7 S; леткі як CH_4;

- анодний хлорний газ, % (за масою): 85,15 C_{12}; 11,39 N_2; 3,46 O_2;

- анодний хлорний газ, % (об'ємні): 70 C_{12}; 23,7 N_2; 6,3 O_2;

- відпрацьований електроліт, % (за масою): 76 КС1; 15,5 NaC1; 2,7$CaCl_2$; 5,5 MgC_{12}; 0,02 MgO; 0,04 Fe_2O_3; 0,07 $A1_2O_3$; 0,07 SiO_2; 0,1 інші.

Приймаємо основні положення розрахунку матеріального балансу хлорування. Ступінь хлорування компонентів шихти, %: 98 TiO_2 та V_2O_5; 95 $A1_2O_3$; 85 SiO_2; 99 CaO, MgO, MnO та FeO. Хлорування FeO йде з утворенням 25% FeC_{12} та 75% FeC_{13}. Ступінь використання хлору 100%. Хлорування золи, коксу, складових відпрацьованого електроліту, летких та сірки не враховуємо. Вологу хлорного газу та вихідних матеріалів до уваги не приймаємо. Втрати коксу з парогазовою сумішшю 7%, а сплавом 8% від загальної кількості пекового коксу, що витрачається. Вважаємо, що вуглець (за винятком втрат) реагує з утворенням 95% CO_2 та 5% CO (це відповідає відношенню CO : CO_2 = 1 : 19). Кількість відпрацьованого електроліту, що заливається, становить 15 % від маси шлаку, що витрачається. Втрати

титану якTiO_2 дорівнюють 2,0 % від вмісту та в шлаку, у тому числі 0,5 % їх переходить у відпрацьований розплав та 1,5 % у паро-газову суміш. У відпрацьований розплав переходять хлориди, що утворилися, і складові відпрацьованого електроліту, %: 97 MgC_{12}, CaC_{12} і MnC_{12}; 45 FeC_{12}; 5 FeC_{13}; 93 КС1; 97 КаС1. У відпрацьований розплав повністю переходять непрореагували FeO, $A1_2O_3$ і SiO_2 шлаку, Fe_2O_3, $A1_2O_3$, SiO_2, MgO, MgC_{12}, CaC_{12} та інші відпрацьованого електроліту і зола пекового коксу; 10% кисню хлорного газу перетворюється на паро-газовую суміш. Розрахунок реакцій проводимо для хлорування 1000 кг титанового шлаку:

	TiO_2	SiO_2	Al_2O_3	MnO	MgO	CaO	V_2O	FeO	Cr_2O_3
Кількість: % (за масою)	82,1	2,31	4,1	1	2	1,35	0,34	5,3	1,5
кг на 1000 кг шлаку	821	23,1	41	10	20	13,5	3,4	53	15
Ступінь хлорування, %	98	85	95	99	99	99	98	-	99
Результат реакції:	804,58	19,63	38,95	9,9	19,8	13,36	3,33	52,47	14,85
не прохлорувано, кг	16,42	3,465	2,05	0,1	0,2	0,135	0,06	0,53	0,15

Усього в результаті реакції хлорується 976,88 кг складових. Залишається непрохлорованим 23,12 кг.

Ступінь хлорування шлаку 97,688%.

У процесі хлорування протікають наступні реакції:

$$TiO_2 + C + 2CCl_2 = TiCl_{14} + CO_2; \quad (2.1)$$

$$SiO_2 + C + 2Cl_2 = SiC_{14} + CO_2; \quad (2.2)$$

$$2Al_2O_3 + 3C + 6Cl_2 = 4AlCl_3 + 3CO_2; \quad (2.3)$$

$$2MnO + C + 2Cl_2 = 2MnCl_2 + CO_2; \quad (2.4)$$

$$2MgO + C + 2Cl_2 = 2MgCl_2 + CO_2; \quad (2.5)$$

$$2CaO + 3 + 2Cl_2 = 2CaCl_2 + CO_2; \quad (2.6)$$

$$2V2O_5 + 3C + 6Cl_2 = 4VOCl_2 + 3CO_2; \quad (2.7)$$

$$2FeO + 3 + 2Cl_2 = 2FeCl_2 + CO_2; \quad (2.8)$$

$$2FeO + 3 + 3Cl_2 = 2FeCl_2 + CO_2; \quad (2.9)$$

$$2Cr_2O_3 + 3C + 6Cl_2 = 4CrCl_3 + 3CO_2; \quad (2.10)$$

$$TiO_2 + 2C + 2Cl_2 = TiCl_4 + 2CO; \quad (2.11)$$

$$SiO_2 + 2C + 2Cl_2 = SiC_{14} + 2CO; \quad (2.12)$$

$$Al_2O3 + 3C + 3Cl_2 = 2AlCl_3 + 3CO; \quad (2.13)$$

$$MnO + C + Cl_2 = MnCl_2 + CO; \quad (2.14)$$

$$MgO + C + Cl_2 = MgCl_2 + CO; \quad (2.15)$$

$$CaO + C + Cl_2 = CaCl_2 + CO; \quad (2.16)$$

$$V_2O_5 + 3C + 3Cl_2 = 2VOCl_3 + 3CO; \quad (2.17)$$

$$FeO + C + Cl_2 = FeCl_2 + CO; \quad (2.18)$$

$$2FeO + 2C + Cl_2 = 2FeCl_3 + 2CO; \quad (2.19)$$

$$2Cr_2O_3 + 6C + 6Cl_2 = 4CrCl_3 + 6CO; \quad (2.20)$$

Визначимо витрату коксу, анодного хлорного газу, відпрацьованого електроліту та кількість продуктів хлорування.

По реакції (2.1):

79,9	12	142	189,9	44
TiO_2	C	$2Cl_2$	$TiCl_4$	CO_2
804,58	а	б	в	г

Звідси а = 120,83 кг; б = 1429,92 кг Cl_2; в = 1912,26 кг $TiCl_4$; г = 432 кг CO_2.

Аналогічно визначаємо кількості витрачаються і сполук, що утворюються, для подальших реакцій.

По реакції (2.2): 3,92 кг; 46,39 кг C_{12}; 55,57 кг SiC_{l4}; 14,37 кг CO_2.

По реакції (2.3): 6,87 кг; 81,33 кг C_{12}; 101,95 кг $A1C_{13}$; 25,20 кгCO_2.

По реакції (2.4): 0,83 кг; 9,91 кг C_{12}; 17,56 кг MnC_{12}; 3,07 кг CO_2.

По реакції (2.5): 2,94 кг; 34,88 кг C_{12}; 46,82 кг MgC_{l2}; 10,80 кг CO_2.

По реакції (2.6): 1,42 кг; 19,92 кг C_{12}; 26,47 кг CaC_{12}; 5,24 кг CO_2.

По реакції (2.7): 0,32 кг; 3,89 кг C_{12}; 6,34 кг VOC_{l3}; 1,2 кг CO_2.

По реакції (2.8): 1,09 кг; 12,95 кг C_{12}; 23,14 кг FeC_{12}; 4,01 кг CO_2.

По реакції (2.9): 3,28 кг; 58,34 кг C_{12}; 88,93 кг FeC_{13};12,05 кг CO_2.

По реакції (2.10): 1,75 кг; 20,80 кг C_{12}; 30,97 кг CrC_{13};6,44 кг CO_2

Результати розрахунку реакцій хлорування (2.1) - (2.10) наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Розрахунок реакцій хлорування

Реакція	Витрачається, кг			Утворюється, кг	
	Окислу	С	Cl_2	Хлориду	CO_2
TiO_2+ C + $2C_{12}$	804,58	120,83	1429,91	1912,26	442,07
SiO_2 + C + $2C_{l2}$	19,635	3,92	46,39	55,57	14,37
$2A1_2O_3$ + 3C + $6C_{12}$	38,95	6,87	81,33	101,95	25,2
2MnO + C + $2C_{l2}$	9,9	0,83	9,91	17,56	3,07
2MgO + C + $2C_{12}$	19,8	2,94	34,88	46,82	10,8
2CaO + C + $2O_2$	13,365	1,42	19,92	26,47	5,24
$2V_2O_5$ + 3C +$6C_{12}$	3,332	0,32	3,89	6,34	1,2
2FeO + C + $2C_{l2}$	13,11	1,09	12,95	23,14	4,01
2FeO + C + $3C_{l2}$	39,36	3,28	58,34	88,93	12,05
$2Cr_2O_3$+3C+$6C_{l2}$	14,85	1,75	20,8	30,97	6,44
Разом.....	976,882	143,25	1718,32	2310,01	524,45

При відношенні в газовій фазі CO_2: CO = 95:5 частина CO_2 ставати до З по реакції:

$$CO_2 + C = 2CO \qquad (2.21)$$

Для визначення кількості CO_2, що відновлюється, витрачається вуглецю і утворюється CO використовуємо реакцію (2.21):

CO_2	CO	2CO

44	12	56
Y	Z	X

Де X - кількість CO, що утворюється, кг; Y - кількість C, що відновлюється до CO_2, кг; Z - кількість C, що витрачається на відновлення, кг.

Складаємо систему рівнянь:

$$\frac{524{,}45 - y}{x} = \frac{95}{5}; x = \left(\frac{56}{44}\right) \cdot y$$

Вирішуючи рівняння, знаходимо:

$$x = 26{,}4 \text{ кг}; y = 20{,}8 \text{ кг}.$$

Кількість вуглецю, необхідного для відновлення CO_2:

$$z = 20{,}8 \cdot \frac{12}{44} = 5{,}6 \text{ кг C}$$

Кількість CO_2, що залишається невідновленим:

$$524{,}45 - 20{,}8 = 503{,}65 \text{ кг}$$

Загальна кількість вуглецю, необхідного для хлорування:

$$143{,}25 + 5{,}6 = 148{,}85 \text{ кг}.$$

З хлорним газом вводиться:

$$718{,}32 \cdot \frac{3{,}46}{85{,}15} = 69{,}822 \text{ кг } O_2$$

$$1718{,}32 \cdot \frac{11{,}39}{85{,}15} = 229{,}849 \text{ кг } N_2$$

Кількість хлорного газу для хлорування 1000 кг шлаку:

$$1718{,}32 + 69{,}822 + 229{,}849 = 2017{,}991 \text{ кг}$$

Кількість кисню хлорного газу, що переходить у парогазову суміш:

$$69{,}82 \cdot 0{,}1 = 6{,}982 \text{ кг}$$

Тоді кількість кисню хлорного газу, яке буде взаємодіяти з додатково вводиться пековим коксом:

$$69{,}82 - 6{,}982 = 62{,}838$$

Витрата відпрацьованого електроліту оцінюємо в такий спосіб.

На 1000 кг шлаку витрачається 150 кг електроліту, що містить, кг:

$$150 \cdot 0{,}76 = 114 KCl; 150 \cdot 0{,}155 = 23{,}25\ NaCl$$

$$150 \cdot 0{,}027 = 4{,}05\ CaCl_2; 150 \cdot 0{,}055 = 8{,}25\ MgCl_2$$

$$150 \cdot 0{,}0002 = 0{,}03\ MgO; 150 \cdot 0{,}0004 = 0{,}06\ Fe_2O_3$$

$$150 \cdot 0{,}0007 = 0{,}105\ Al_2O_3; 150 \cdot 0{,}007 = 0{,}105\ SiO_2$$

$$150 \cdot 0{,}001 = 0{,}15 \text{ інші.}$$

Витрата пекового коксу визначаємо в такий спосіб. Для реакцій хлорування потрібно пекового коксу:

$$148{,}85/0{,}9345 = 159{,}283 \text{ кг;}$$

містить, кг:

$$159{,}283 \cdot 0{,}0352 = 5{,}6 \text{ леткі}$$

$$159{,}283 \cdot 0{,}007 = 1{,}11 \text{ сірка}$$

$$159{,}283 \cdot 0{,}0233 = 3{,}71 \text{ зола}$$

Сірка коксу окислюватиметься киснем хлорного газу за реакцією:

$$S + O_2 = SO_2 \qquad (2.22)$$

При цьому витрачається і утворюється O_2 і SO_2:

S	O_2	SO_2
32	32	64
1,11	а	б

Звідси а = 1,11 кг O_2; б = 2,22 кг SO_2.

Летючі коксу (CH4) окислюватимуться киснем хлорного газу з утворенням продуктів окислення за реакцією:

$$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O \qquad (2.23)$$

Тоді отримаємо:

CH_4	O_2	CO_2	H_2O
16	64	44	36
5,6	а	б	в

Звідси: а = 22,4 кг; б = 15,4 кг CO_2; = 12,6 кг H_2O.

Залишається кисню хлорного газу, який взаємодіятиме з пековим коксом, що додається:

$$62{,}838 - (1{,}11 + 22{,}4) = 39{,}32\text{кг}$$

Визначимо необхідну кількість пекового коксу зв'язування цього кисню.

При згорянні 100 кг коксу з його горючими складовими взаємодіє кисень і утворюються продукти реакції.

По реакції (2.22): 0,7 кг O2; 1,4 кг SO_2.

За реакцією (2.23): 14,08 кг O_2; 9,7 кг CO_2; 7,9 кг H_2O.

Вуглець взаємодіє з киснем по реакції:

$$C + O_2 = CO_2 \qquad (2.24)$$

При цьому витрачається та утворюється: 249,2 кг O_2; 342,65 кг CO_2.

Усього витрачається кисню на взаємодію з пальними складовими:

$$0{,}7 + 14{,}08 + 249{,}2 = 263{,}98 \text{ кг}$$

Отже, для зв'язування залишкової кількості кисню хлорного газу потрібно паливної маси пекового коксу:

$$39{,}32 \cdot \frac{100}{263{,}98} = 14{,}89 \text{ кг}$$

З урахуванням золи коксу потрібно пекового коксу на спалювання надлишкового кисню хлорного газу:

$$14{,}89 \cdot \frac{100}{97{,}67} = 15{,}24 \text{ кг}$$

Усього витрата пекового коксу складе:

$$159{,}283 + 15{,}24 = 174{,}523 \text{ кг}$$

Втрати коксу з парогазовою сумішшю та з відвальним розплавом становлять 14,89 % від загальної витрати. Отже, з урахуванням втрат витрата пекового коксу:

$$174{,}523 \cdot \frac{100}{85} = 205{,}32 \text{ кг}$$

При цьому паро-газову суміш перейде пекового коксу:

$$205{,}32 \cdot 0{,}07 = 14{,}37 \text{ кг}$$

У відпрацьований розплав переходить коксу:

$$205{,}32 \cdot 0{,}08 = 16{,}42 \text{ кг}$$

Склад пекового коксу, що витрачається на спалювання надлишкового кисню хлорного газу, наступний, кг:

$$15{,}24 \cdot 0{,}935 = 14{,}24 \text{ вуглець}$$

$$15{,}24 \cdot 0{,}0352 = 0{,}53 \text{ леткі}$$

$$15{,}24 \cdot 0{,}007 = 0{,}106 \text{ сірка}$$

$$15{,}24 \cdot 0{,}0233 = 0{,}35 \text{ зола}$$

Кількість продуктів взаємодії: вуглець взаємодієз киснем щодо реакції (2.24). При цьому витрачається та утворюється 37,97 кг O_2; 52,21 кг CO_2; леткі взаємодіють щодо реакції (2.23). При цьому витрачається та утворюється 2,12 кг O_2; 1,45 кг CO_2; 1,19 кг H_2O; сірка взаємодіє з киснем щодо реакції (2.22). При цьому витрачається та утворюється 0,106 кг O_2, 0,212 кг SO_2.

За реакціями хлорування та при взаємодії з киснем хлорного газу з пекового коксу утворюється продуктів, кг:

$$503{,}65 + 15{,}4 + 52{,}21 + 1{,}45 = 572{,}71\ CO_2$$

$$2{,}22 + 0{,}21 = 2{,}43\ SO_2$$

$$12{,}6 + 1{,}19 = 13{,}79\ H_2O$$

$$26{,}4\ CO$$

Від згоряння пекового коксу утворюється золи:

$$3{,}71 + 0{,}35 = 4{,}06 \text{ кг}$$

З урахуванням кількості SO_2, що утворюється при згорянні сірки шлаку, загальна кількість пекового коксу буде:

$$2{,}43 + 4 = 6{,}43 \text{ кг}$$

Кількість та склад відпрацьованого розплаву визначаємо наступним

чином. Зі шлаку та продуктів його хлорування переходять у відпрацьований розплав, кг:

$$821 \cdot 0{,}005 = 4{,}105\ TiO_2; 46{,}82 \cdot 0{,}97 = 45{,}415\ MgCl_2$$

$$26{,}47 \cdot 0{,}97 = 25{,}675\ CaCl_2; 17{,}56 \cdot 0{,}97 = 17{,}033\ MnCl_2$$

$$30{,}97 \cdot 0{,}85 = 26{,}32\ CrCl_3; 23{,}14 \cdot 0{,}45 = 10{,}413\ FeCl_2$$

$$88{,}93 \cdot 0{,}05 = 4{,}446\ FeCl_3; 0{,}53\ FeO;$$

$$2{,}05\ Al_2O_3; 3{,}465\ SiO_2; 0{,}1\ MnO$$

$$0{,}2\ MgO; 0{,}135\ CaO$$

$$0{,}068\ V_2O_5; 0{,}15\ Cr_2O_3$$

З відпрацьованого електроліту переходять у відпрацьований розплав, кг:

$$114 \cdot 0{,}93 = 106{,}02\ KCl; 23{,}25 \cdot 0{,}97 = 22{,}552\ NaCl$$

$$0{,}06\ Fe_2O_3; 0{,}105\ Al_2O_3; 0{,}105\ SiO_2$$

$$0{,}03\ MgO; 8{,}25\ MgCl_2; 4{,}05\ CaCl_2$$

Від згоряння пекового коксу у відпрацьований розплав переходять 4,06 кг золи і 16,42 кг кокса, що не прореагував. Усього відпрацьованого розплаву 301,384 кг.

Сумарна кількість сполук у відпрацьованому розплаві складе, кг:

$$45{,}415 + 8{,}27 = 53{,}665\ MgCl_2; 25{,}675 + 4{,}05 = 29{,}725\ CaCl_2$$

$$2{,}05 + 0{,}105 = 2{,}155\ Al_2O_3; 3{,}465 + 0{,}105 = 3{,}57\ SiO_2;$$

$$0{,}2 + 0{,}03 = 0{,}23\ MgO$$

Вода, що утворилася при відновленні летких пекового коксу (13,79кг), гідролізує чотирихлористий титан за реакцією:

$$TICl_4 + H_2O = TiOCl_2 + 2HCl \qquad (2.25)$$

Тоді:

$TiCl_4$	H_2O	$TiOC1_2$	HCl
189,9	18	134,9	73
а	13,79	б	в

Звідси а = 145,48 кг $TiCl_4$; б = 103,34 кг $TiOC1_2$; =55,92 кг HC1.

Кількість та склад парогазової суміші знаходимо наступним чином.

Повністю в парогазову суміш переходять хлориди і оксихлориди, що утворилися, кг:

55,57 $SiCl_4$	55,57 $SiCl_4$
6,34 $VOC1_3$	103.34 $TiOCl_2$

Частина хлоридів переходить у відпрацьований розплав, кг:

$$17{,}56 - 17{,}033 = 0{,}527\ MnCl_2$$

$$30{,}97 - 26{,}32 = 4{,}65\ CrCl_3$$

$$23{,}14 - 10{,}413 = 12{,}727\ FeCl_2$$

$$88{,}93 - 4{,}446 = 84{,}484\ FeCl_3$$

Кількість хлоридів, що утворюються в результаті реакцій, та хлоридів відпрацьованого електроліту (за винятком частини, що переходить у відпрацьований розплав) складе, кг:

$$46{,}82 + 8{,}25 - 53{,}665 = 1{,}405\ MgCl_2$$

$$26{,}47 + 4{,}05 - 29{,}725 = 0{,}795\ CaCl_2$$

Кількість хлоридів відпрацьованого електроліту за вирахуванням частини, що переходить у відпрацьований розплав, буде, кг:

$$114 - 106{,}02 = 7{,}98\ KCl$$

$$23{,}25 - 22{,}552 = 0{,}698\ NaCl$$

Кількість хлоридів титану за вирахуванням частини, що гідролізується:

$$1912{,}26 - 145{,}48 = 1766{,}78 \text{ кг } TiCl_4$$

Кількість діоксиду титану, що втрачається:

$$821 \cdot 0{,}015 = 12{,}315 \text{ кг}$$

Кількість азоту, що надходить із хлорним газом, 229,849 кг. Кількість хлористого водню, що утворюється за гідролізу, 55,92 кг. Кількість пекового

коксу, що втрачається за вирахуванням переходить в плав 14,37 кг. Кількість двоокису та окису вуглецю, що утворюються за реакціями хлорування та спалювання пекового коксу киснем хлорного газу: 572,71 кг CO_2 та 26,4 кг CO. Кількість сірчистого газу, що утворюється при згорянні сірки, шлаку та пекового коксу, що реагують з киснем хлорного газу, 6,43 кг SO_2.

Кількість кисню, що становить 10 % від хлорного газу, що міститься, 6,982 кг.

Усього утворюється парогазової суміші 3059,94 кг.

За наслідками розрахунків складаємо матеріальний баланс хлорування (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2- Матеріальний баланс хлорування

Надійшло			Отримано		
Найменування	К-ть кг	К-ть %	Найменування	К-ть кг	К-ть %
1	2	3	4	5	6
Шлак	1000,0	100,0	ПГС	3072,222	100,0
У тому числі:			У тому числі:		
TiO_2	821,0	82,1	TiO_2	12,315	0,4
SiO_2	23,1	2,31	$TiCl_4$	1766,78	57,5
Al_2O_3	41,0	4,1	$SiCl_4$	55,57	1,8
MnO	10,0	1,0	$AlCl_3$	101,95	3,31
MgO	20,0	2,0	$MnCl_2$	0,527	0,01
CaO	13,5	1,35	$MgCl_2$	1,405	0,04
V_2O_5	3,4	0,34	$TiOCl_2$	103,34	3,36
FeO	53,0	5,3	$CaCl_2$	0,795	0,02
Cr_2O_3	15,0	1,5	KCl_2	7,98	0,25
Хлорний газ	2017,99	100,0	$NaCl_2$	0,698	0,02
У тому числі:			$FeCl_2$	12,727	0,41
Cl_2	1718,32	85,15	$FeCl_3$	84,484	2,74
O_2	69,822	3,45	$VOCl_3$	6,34	0,2
N_2	229,849	11,40	SO_2	6,43	0,2
Пековий кокс	205,32	100,0	HCl	55,92	1,82
У тому числі:			$CrCl_3$	4,65	0,15
C	191,871	93,45	Кокс	14,37	0,46
S	1,437	0,7	N_2	229,849	7,6

Продовж. табл. 2.2

1	2	3	4	5	6
Летючі	7,227	3,52	O_2	6,982	0,22
Зола	4,783	2,33	CO_2	572,71	18,64
Відпрац. ел-т	150,0	100,0	C	26,4	0,85
У тому числі:			Відпрац. розплав	301,384	100,0
KCl	114,0	76,0	У тому числі:		
NaCl	23,25	15,5	Ti_{O2}	4,105	1,36
$CaCl_2$	4,05	2,7	KCl	106,02	35,17
$MgCl_2$	8,25	5,5	NaCl	22,552	7,48
MgO_2	0,03	0,02	$MgCl_2$	53,665	17,80
Fe_2O_3	0,06	0,04	$CaCl_2$	29,725	9,86
Al_2O_3	0,105	0,07	$CrCl_2$	26,32	8,73
SiO_2	0,105	0,07	FeO	0,53	0,17
Інші	0,15	0,1	$FeCl_2$	10,413	3,45
Нев'язка	0,295	0,008	$FeCl_3$	4,446	1,47
			Al_2O_3	2,155	0,71
			$MnCl_2$	17,033	5,70
			SiO_2	3,57	1,18
			MgO	0,23	0,10
			Fe_2O_3	0,06	0,02
			Кокс	16,42	5,44
			Зола	3,99	1,32
			Інші	0,15	0,04
Разом…….	3373,606	-	Разом…….	3373,606	-

Нев'язка балансу становить 0,008%.

2.2 Розрахунок кількості хлораторів та їх розмірів

Для розрахунку приймаємо такі вихідні дані:

Продуктивність хлоратора по чотирихлористому титану, (т/добу) -100

Питома продуктивність чотирихлористого титану, віднесена до одиниці довжини хлоррозподільника, т/(м^2·сут) - 12

Глибина ванни хлоратора, м - 3

Кількість хлораторів визначаємо в такий спосіб. За матеріальним балансом з урахуванням використання календарного часу 92% має бути отриманоTiCl$_4$:

$$130 \cdot \frac{1,76678}{1} \cdot 0,92 = 249,65 \text{ т/добу}$$

Знаходимо необхідну кількість хлораторів:

$$\text{n} = \frac{249,65}{100} = 2,49$$

Приймаємо до встановлення три хлоратори.

Розміри хлоратора встановлюємо в такий спосіб.

Знаходимо розрахунковудовжину ванни хлоратора при двосторонній подачі хлору та прийнятої питомої продуктивності:

$$L = \frac{100}{2} \cdot 12 = 4,17 \text{ м}$$

Приймаємо внутрішню довжину ванни рівну великому найближчому кратного розміру цегли: $L_{вн}$ = 4370 мм. З конструктивних міркувань приймаємо внутрішню ширину хлоратора $b_{вн}$ = 2735 мм.

По нижній частині середньої стінки встановлюється ізоляційна прокладка завтовшки 115 мм, що збільшує товщину середньої стінки до 715 мм. Тоді встановлюємо ширину відділення у цій частині:

$$B_o = \frac{2735 - 715}{2} = 1010 \text{ мм}$$

Робочий переріз хлоратора:

$$F_p = 2 \cdot 1{,}01 \cdot 4{,}34 = 8{,}8 \text{ м}^2$$

Приймаючи висоту надрозплавної частини хлоратора 2 м, глибину 3 м товщину склепіння 1,5м, розраховуємо загальну висоту хлоратора:

$$H_в = 2 + 3 = 5 \text{ м}$$

$$H = 5 + 1{,}5 = 6{,}5 \text{ м}$$

Приймаємо, що хлорний газ подається по восьми хлоропроводам (з кожного боку чотири хлоропроводи).

За матеріальним балансом витрата хлорного газу на один хлоратор становитиме:

$$m = 2{,}01799 \cdot \frac{100}{1{,}8 + 89 \cdot 24} = 4{,}759 \text{ т/год}$$

Для визначення діаметрів хлоропроводу та фурм приймаємо такі вихідні дані:

Тиск газів, що виходять із хлоратора, кПа	101,0505
Щільність, кг/м^3:	
розплаву	1700
повітря	1,293
хлору	3,22
Частка у хлорному газі:	
повітря	0,3
хлору	0,7
Швидкість хлорного газу, м/с:	
у хлоропроводі	6
у фурмі	9

Статичний тиск розплаву в хлораторі при глибині ванни 3 м:

$$H_в = 1700 \cdot \frac{3}{10000} \cdot 10{,}1 = 51{,}5 \text{ кПа}$$

Тиск хлорного газу, що подається в хлоратор:

$$p = 101{,}0505 + 51{,}5 = 153 \text{ кПа}$$

Щільність хлорного газу при вказаному тиску в хлораторі:

$$y = (0{,}3 \cdot 1{,}293 + 0{,}7 \cdot 3{,}22) \cdot \frac{153}{101{,}3} = 3{,}99 \text{ кг/м}^3$$

Об'єм хлорного газу, що надходить у хлоратор:

$$V = 4{,}759 \cdot \frac{1000}{3600 \cdot 3{,}99} = 0{,}331 \text{ м}^3/c$$

Об'єм хлорного газу, що проходить через один хлоропровід:

$$\frac{0{,}331}{8} = 0{,}041 \text{ м}^3/\text{с}$$

Визначаємо площу поперечного перерізу та діаметр хлоропроводу:

$$f = \frac{0{,}041}{6} = 0{,}0068\text{м}^2$$

$$d = \sqrt{4} \cdot \frac{0{,}0068}{3{,}14} = 0{,}004\text{м}$$

Приймається діаметр хлоропроводу 100 мм.

Знаходимо площу поперечного перерізу та діаметр фурми:

$$f_1 = \frac{0{,}045}{9} = 0{,}005 \text{ м}^2$$

$$d_1 = \sqrt{4} \cdot \frac{0{,}005}{3{,}14} = 0{,}003 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр фурми 30 мм.

2.3 Розрахунок теплового балансу хлоратора

Розрахунок проводимо на годинну продуктивність по четыреххлористому титану. По матеріальному балансу на 1000 кг титанового шлаку виходить 1766,78 кг $TiCl_4$.

Надходження тепла. Кількість фізичного тепла матеріалів, що надходять у хлоратор, визначаємо в такий спосіб.

Теплоємність матеріалів, що надходять, становить, кДж/(кг·К) : 0,94

для шлаку; 0,835 для пекового коксу; 0,795 для відпрацьованого електроліту; 0,556 для хлорного газу Температура цих матеріалів становить 20°С.

Визначаємо кількість фізичного тепла матеріалів:

$$\text{шлаку } Q_{\text{ш}} = 1000 \cdot 2{,}4 \cdot 0{,}94 \cdot 20 = 45120 \text{ кДж/год}$$

$$\text{пекового коксу } Q_{\text{к}} = 205{,}32 \cdot 2{,}4 \cdot 0{,}835 \cdot 20 = 8229 \text{ кДж/год}$$

$$\text{електроліту } Q_{e} = 150 \cdot 2{,}4 \cdot 0{,}795 \cdot 20 = 5724 \text{ кДж/год}$$

$$\text{хлорного газу } Q_{x} = 2017{,}991 \cdot 2{,}4 \cdot 0{,}556 \cdot 20 = 53856 \text{ кДж/год}$$

Усього фізичного тепла матеріалів:

$$Q_{\text{ф}} = 45120 + 8229 + 5724 + 53856 = 11929 \text{ кДж/год}$$

Кількість тепла екзотермічної реакції оцінюємо наступним чином.

При хлоруванні титанового шлаку протікають екзотермічні реакції (2.1) – (2.23). Дані про теплові ефекти цих реакцій при температурі хлорування відсутні. Визначимо тепловий ефект реакцій при температурі відновлення 750°С з урахуванням агрегатного стану сполук, що у реакціях (Q_{1023}). Потім знайдемо кількість тепла, що виділяється реакцією на годину (Qг).

Тепловий ефект реакції (2.1): Q_{1023} = 218 кДж. Тепло, що виділяється по реакції (2.1):

$$Q^{г} = \left(\frac{218}{79{,}9}\right) \cdot \left(\frac{18}{19}\right) \cdot 804{,}58 \cdot 2{,}4 \cdot 1000 = 4991247 \text{кДж/год}$$

Тепловий ефект реакції (2.2): Q_{1023} = 138 кДж. Тепло, що виділяється по реакції (2.2):

$$Q^{г} = (138/60{,}1) \cdot (18/19) \cdot 19{,}635 \cdot 2{,}4 \cdot 1000 = 102509 \text{ кДж/год}$$

Тепловий ефект реакції (2.3): Q_{1023} = 250 кДж. Тепло, що виділяється по реакції (2.3):

$$Q^{г} = (250/2 \cdot 102) \cdot (18/19) \cdot 38{,}95 \cdot 2{,}4 \cdot 1000 = 108529 \text{ кДж/год}$$

Тепловий ефект реакції (2.4): Q_{1023} = 500 кДж. Тепло, що виділяється по реакції (2.4):

$$Q^г = \left(\frac{500}{2} \cdot 71\right) \cdot \left(\frac{18}{19}\right) \cdot 9{,}9 \cdot 2{,}4 \cdot 100 = 79258 \text{ кДж/год}$$

Тепловий ефект реакції (2.5): Q_{1023} = 400 кДж. Тепло, що виділяється по реакції (2.5):

$$Q^г = \left(\frac{400}{2} \cdot 40{,}3\right) \cdot (18/19) \cdot 19{,}8 \cdot 2{,}4 \cdot 1000 = 223419 \text{ кДж/год}$$

Тепловий ефект реакції (2.6): Q_{1023} = 670 кДж. Тепло, що виділяється по реакції (2.6):

$$Q^г = \left(\frac{670}{2} \cdot 56\right) \cdot \left(\frac{18}{19}\right) \cdot 13{,}365 \cdot 2{,}4 \cdot 1000 = 181784 \text{ кДж/год}$$

Тепловий ефект реакції (2.7): Q_{1023} = 300 кДж. Тепло, що виділяється по реакції (2.7):

$$Q^г = \left(\frac{300}{2} \cdot 182\right) \cdot \left(\frac{18}{19}\right) \cdot 3{,}332 \cdot 2{,}4 \cdot 1000 = 6243 \text{ кДж/год}$$

Тепловий ефект реакції (2.8): Q_{1023} = 500 кДж. Тепло, що виділяється по реакції (2.8):

$$Q^г = \left(\frac{500}{2} \cdot 71{,}9\right) \cdot \left(\frac{18}{19}\right) \cdot 13{,}11 \cdot 2{,}4 \cdot 1000 = 103643 \text{ кДж/год}$$

Тепловий ефект реакції (2.9): Q_{1023} = 469 кДж. Тепло, що виділяється по реакції (2.9):

$$Q^г = \left(\frac{469}{2} \cdot 71{,}9\right) \cdot \left(\frac{18}{19}\right) \cdot 39{,}35 \cdot 2{,}4 \cdot 1000 = 308601 \text{ кДж/год}$$

Тепловий ефект реакції (2.10): Q_{1023} = 500 кДж. Тепло, що виділяється по реакції (2.10):

$$Q^г = \left(\frac{500}{304}\right) \cdot \left(\frac{18}{19}\right) \cdot 14{,}85 \cdot 2{,}4 \cdot 1000 = 55533 \text{ кДж/год}$$

Тепловий ефект реакції (2.11): Q_{1023} = 100 кДж. Тепло, що виділяється по реакції (2.11):

$$Q^г = (100/79{,}9) \cdot (1/19) \cdot 804{,}58 \cdot 2{,}4 \cdot 1000 = 127197 \text{ кДж/год}$$

Тепловий ефект реакції (2.12): Q_{1023} = 75 кДж. Тепло, що виділяється по реакції (2.12):

$$Q^г = (75/60{,}1) \cdot (1/19) \cdot 19{,}635 \cdot 2{,}4 \cdot 1000 = 3095 \text{ кДж/год}$$

Тепловий ефект реакції (2.13): Q_{1023} = 40,6 кДж. Тепло, що виділяється по реакції (2.13):

$$Q^г = (40{,}6/102) \cdot (1/19) \cdot 38{,}95 \cdot 2{,}4 \cdot 1000 = 1958 \text{ кДж/год}$$

Тепловий ефект реакції (2.14): Q_{1023} = 219,8 кДж. Тепло, що виділяється по реакції (2.14):

$$Q^г = (219{,}8/71) \cdot (1/19) \cdot 9{,}9 \cdot 2{,}4 \cdot 1000 = 3871\text{кДж/год}$$

Тепловий ефект реакції (2.15): Q_{1023} = 182 кДж. Тепло, що виділяється по реакції (2.15):

$$Q^г = (182/40{,}3) \cdot (1/19) \cdot 19{,}8 \cdot 2{,}4 \cdot 1000 = 11295 \text{ кДж/год}$$

Тепловий ефект реакції (2.16): Q_{1023} = 300 кДж. Тепло, що виділяється по реакції (2.16):

$$Q^г = (300/56) \cdot (1/19) \cdot I3{,}365 \cdot 2{,}4 * 1000 = 9043\text{кДж/год}$$

Тепловий ефект реакції (2.17): Q_{1023}= 25 кДж. Тепло, що виділяється по реакції (2.17):

$$Q^г = (25/182) \cdot (1/19) \cdot 3{,}332 \cdot 2{,}4 \cdot 1000 = 57 \text{ кДж/год}$$

Тепловий ефект реакції (2.18): Q_{1023}= 200 кДж. Тепло, що виділяється по реакції (2.18):

$$Q^г = (200/71{,}9) \cdot (1/19) \cdot 13{,}11 \cdot 2{,}4 \cdot 1000 = 4606 \text{ кДж/год}$$

Тепловий ефект реакції (2.19): Q_{1023} = 300 кДж. Тепло, що виділяється по реакції (2.19):

$$Q^г = (300/2 \cdot 71{,}9) \cdot (1/19) \cdot 39{,}35 \cdot 2{,}4 \cdot 1000 = 10369 \text{ кДж/год}$$

Тепловий ефект реакції (2.20): Q_{1023} = 219,8 кДж. Тепло, що виділяється по реакції (2.20):

$$Q^г = (219{,}8\ /152) \cdot (1/19) \cdot 14{,}85 \cdot 2{,}4 \cdot 1000 = 2712 \text{ кДж/год}$$

Тепловий ефект реакції (2.21): Q_{1023} = 7 кДж. Тепло, що виділяється по

реакції (2.21):

$$Q^г = (7/44) \cdot 20{,}8 \cdot 2{,}4 \cdot 1000 = 7941 \text{ кДж/год}$$

Тепловий ефект реакції (2.22): Q_{1023} = 309 кДж. Тепло, що виділяється по реакції (2.22):

$$Q^г = (309/32) \cdot 3{,}41 \cdot 2{,}4 \cdot 1000 = 79027 \text{ кДж/год}$$

Тепловий ефект реакції (2.23): Q_{1023} = 750 кДж. Тепло, що виділяється по реакції (2.23):

$$Q^г = (750/16) \cdot 7{,}1 \cdot 2{,}4 \cdot 1000 = 798750 \text{ кДж/год}$$

Тепловий ефект реакції (2.24): Q_{1023} = 396кДж. Тепло, що виділяється по реакції (2.24):

$$Q^г = (396/12) \cdot 5{,}8 \cdot 2{,}4 \cdot 1000 = 459360 \text{ кДж/год}$$

Усього тепла екзотермічних реакцій:

$$Q_{екз} = 7680047 \text{ кДж/год.}$$

Надходження тепла:

$$Q_{прих} = 7792976 \text{ кДж/год.}$$

Витрати тепла. Кількість фізичного тепла матеріалів, що виходять із хлоратора.

Приймається температура відпрацьованого розплаву 750°С, теплоємність розплаву 0,947 кДж/(кг·К). Тоді тепло, яке відносить відпрацьований розплав:

$$Q_{прих} = 301{,}384 \cdot 2{,}4 \cdot 0{,}947 \cdot 750 = 513739 \text{ кДж/год}$$

Приймається температура парогазової суміші 750°С. Теплоємність основних складових парогазової суміші для цієї температури, кДж/моль·К: 103 $TiC1_4$; 38,8 CO_2; 22,1 N_2; 83 $A1C1_3$; 89,7 $FeC1_3$; 21,5 HC1; 102,0 $SiCI_4$.

Середня теплоємність парогазової суміші:

$$c_{ср} = \left(\frac{103}{189,5}\right) \cdot 0,597 + \left(\frac{38,8}{44}\right) \cdot 0,1896 + \left(\frac{22,1}{28}\right) \cdot 0,0756 + \left(\frac{83}{133,35}\right) \cdot 0,041 + \left(\frac{89,7}{162,2}\right) \cdot 0,017 + \left(\frac{21,5}{36,5}\right) \cdot 0,017 + \left(\frac{102}{170,1}\right) \cdot 0,033 = 0,616 \text{ кДж/(кг} * \text{К)}$$

Кількість тепла, що забирається парогазовою сумішшю:

$$Q_{пгс} = 3072,222 \cdot 2,4 \cdot 0,616 \cdot 750 = 3406479 \text{ кДж/год}$$

Усього втрат фізичного тепла матеріалів:

$$Q_{ф} = 3406479 + 513739 = 3920218 \text{ кДж/год}$$

Кількість тепла ендотермічної реакції (2.25) встановлюємо в такий спосіб.

Тепловий ефект цієї реакції при температурі хлорування відсутній. Визначимо тепловий ефект реакції при температурі хлорування 750 °С урахуванням агрегатного стану сполук, що у реакціях. Потім знайдемо кількість тепла, яке виділяється при реакціях за 1 год.

Тепловий ефект реакції (2.25): Q_{1023} = 537 кДж. Знайдемо тепло, що поглинається по реакції:

$$Q_{1023} = (537/189,5) \cdot 145,48 \cdot 2,4 \cdot 1000 = 989417 \text{ Кдж/год}$$

Втрати тепла у зовнішнє середовище оцінюємо в такий спосіб. Приймаємо структуру футерування хлоратора. Розглядаємо під і бічні стінки, що знаходяться в зоні розплаву. Товщина шамотної цегли ванни хлоратора S_1 і бічних стінок його надрозплавної зоні S'_1 складе 750 і 295 мм відповідно. Товщина засипки шамотної крихти S_2 та S'_2 та товщина діабазової плитки S_3 та S'_3 в обох випадках становитимуть 30 та 50 мм відповідно.

Приймаємо коефіцієнти теплопровідності для шамоту 0,955; для шамотної крихти 0,465 та для діабазової плитки 1,163 Вт(м·К).

Приймаємо температуру внутрішньої стінки хлоратора та поду 750 °С. Визначаємо питомі втрати тепла через ванну хлоратора та надрозплавні

бічні стінки. Для цього встановлюємо тепловий опір ванни та стінки хлоратора:

- ванна хлоратора:

$$\sum S/\lambda = \frac{0,75}{0,955} + \frac{0,03}{0,465} + \frac{0,05}{1,163} = 0,89$$

- стінка хлоратора над розплавом:

$$\sum S/\lambda' = \frac{0,295}{0,955} + \frac{0,03}{0,0465} + \frac{0,05}{1,163} = 0,42$$

За графіком, наведеним на рисунку 2.1, знаходимо температуру зовнішньої поверхні хлоратора та питомі втрати тепла: у ванні хлоратора tн = 80°С та q = 1163 Вт/(м^2*К); у стінках хлоратора над розплавом $t_н'$=120° З q'=2100Вт/(м^2*К). Поверхня ванни хлоратора:

$$F_в = 8,8 + 4,37 \cdot 3 \cdot 2 + 2,735 \cdot 3 \cdot 2 = 51,4 \text{ м}^2$$

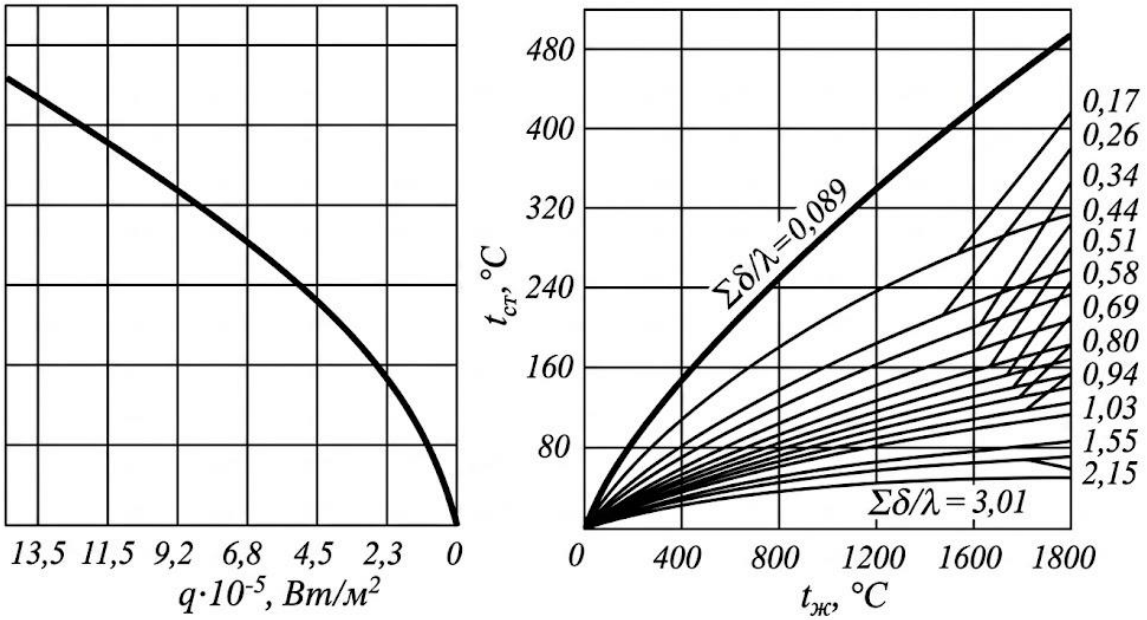


Рисунок 2.1- Графік визначення питомих втрат тепла через стінку у печі

Поверхня бічних стінок надрозплавної зони:

$$F_c = 5,28 \cdot 2 \cdot 2 + 3,645 \cdot 2 \cdot 2 = 35,6 \text{ м}^2$$

Визначаємо втрати тепла за 1 годину:

- через ванну хлоратора

$$Q_в = 1163 \cdot 51{,}4 \cdot 1 = 59778 \text{ Вт}$$

-через стінку над розплавом

$$Q_с = 2100 \cdot 35{,}6 \cdot 1 = 74760 \text{ Вт}$$

Усього втрачається тепла у зовнішнє середовище:

$$Q_{вн} = 59778 + 74760 = 134538 \text{ Вт}$$

або

$$Q_{вн} = 134538 \cdot 3{,}6 = 484337 \text{ кДж/год}$$

Невраховані втрати приймаємо рівними 2% від загального надходження тепла, що становить:

$$Q_н = 7792976 \cdot 0{,}02 = 155859 \text{ кДж/год}$$

Тоді загальна витрата тепла:

$$Q_{расх} = 3920218 + 989417 + 484337 + 155859 = 5549831 \text{ кДж/год}$$

Надлишкове тепло, яке потрібно відвести, охолоджуючи хлоратор:

$$Q_{над} = 7792976 - 5549831 = 2243145 \text{ кДж/год}$$

У таблиці 2.3 наведено тепловий баланс хлоратора за 1 год.

Таблиця 2.3-Тепловий баланс хлоратора за 1 годину

Пара			Витрата		
Стаття	Кількість		Стаття	Кількість	
	кДж/год	%		кДж/год	%
$Q_ф$ вхідних матеріалів	122929	1,4	$Q_ф$ матеріалів, що відходять	3920218	50,3
$Q_{екз}$ реакцій	7680047	98,6	$Q_{ендо}$ реакцій	989417	12,7
			$Q_{вн}$	484337	6,2
			$Q_{охл}$	2243145	28,8
			Q невраховані втрати	155859	2,0
Разом…..	7792976	100,0	Разом…..	7792976	100,0

Припустимо, що відведення тепла штангою становить 105000 кДж/год. Тоді визначимо необхідну кількість штанг:

$$n = 2243145/105000 = 21,36.$$

Приймаємо 22 штанги.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

При виробництві тетрахлориду титану використовують шлак, що містить титан, в якому завжди присутні значні кількості рідкісних елементів - ванадія, скандія, ніобію, танталу та ін. Значно більше в шлаку міститься домішок заліза, алюмінію, магнію, кремнію, кальцію та марганцю. Загальна кількість усіх домішок сягає (15-20) %. Практично всі ці домішки відокремлюють та виводять у вигляді відходів на ділянках хлорування, конденсації та ректифікації. При хлоруванні більшість цих домішок переходить у хлориди та оксохлориди та залежно від фізико-хімічних властивостей концентруються в окремих напівпродуктах та відходах виробництва. Це призводить до великих марних витрат хлору, додаткових витрат і забруднення навколишнього середовища.

Відходами виробництва тетрахлориду титану є відпрацьований розплав титанових хлораторів; відгони пилових камер та рукавного фільтра; огарок шихти хлораторів; розплав печей переробокки пульп; кубові залишки ректифікації; вторинний дистилят колон ректифікації; відхідні гази, які після очищення водою та вапняним "молоком" утворюють солянокислі стоки та гіпохлоритну пульпу; кислі стоки від розмиву обладнання та прибирання приміщень. Таким чином, у процесі виробництва тетрахлориду титану утворюються тверді і рідкі відходи хлору.

Культуру виробництва визначають не тільки автоматизація та механізація трудомістких процесів, а й стан санітарних умов праці, ліквідація викидів шкідливих речовин в атмосферу, водойми та ґрунт. Тому з початку зародження титанової промисловості на відвальні продукти було звернено найсерйознішу увагу.

Наразі розроблено та випробувано в лабораторному та напівпромисловому масштабах різні технологічні схеми, в яких передбачена часткова або повна ліквідація відходів титано-магнієвого

виробництва. Загальний напрямок досліджень не тільки ліквідація відходів, а й попутне вилучення цінних компонентів: хлору, титану, хлористого водню, заліза, магнію, ванадію, скандію, ніобію, танталу та ін.

Технологію утилізації відходів можна розділити на два напрями: пірометалургійні процеси, що проходять при високій температурі, і гідрометалургійні процеси, що проходять при звичайних температурах у водних розчинах.

Дослідження простих та ефективних способів регенерації розплаву хлоратора є нагальною проблемою виробництва. Рішення її дозволить різко скоротити масу відвального розплаву, суттєво підвищити концентрацію корисних компонентів, наприклад скандію, та відпрацювати прийнятні технології їх вилучення.

Пірометалургійними методами можна переробляти окремі види відходів. Вони не охоплюють такі відходи, як кислі стоки, гіпохлоритні пульпи. Очевидно, що без гідрометалургії не ліквідувати всіх відходів. Крім того, гідрометалургійні процеси мають більш високу гнучкість, універсальність, поєднують високу ефективність з простотою апаратурного оформлення, легше піддаються механізації та автоматизації. Тому значна кількість технологічних схем переробки всіх видів відходів титано-магнієвого виробництва з випуском широкого асортименту попутної продукції базується на основі гідрометалургії.

Відвальний розплав титанових хлоратів поряд з іншими цінними компонентами (хлор, магній, калій) містить скандій, ніобій і тантал. У промисловому масштабі розроблено технологію переробки відвального розплаву сольового хлоратора із вилученням скандію у вигляді оксиду. Застосування прогресивного екстракційного процесу дозволить отримувати товарну продукцію високої якості із відносно високим витягом скандію. Проводили дослідження щодо вилучення скандію з відходів виробництва

$TiCl_4$ іонообмінним способом. Ці дослідження свідчать про перспективності способу, особливо це, відноситься до виробництва сполук скандію підвищеної чистоти.

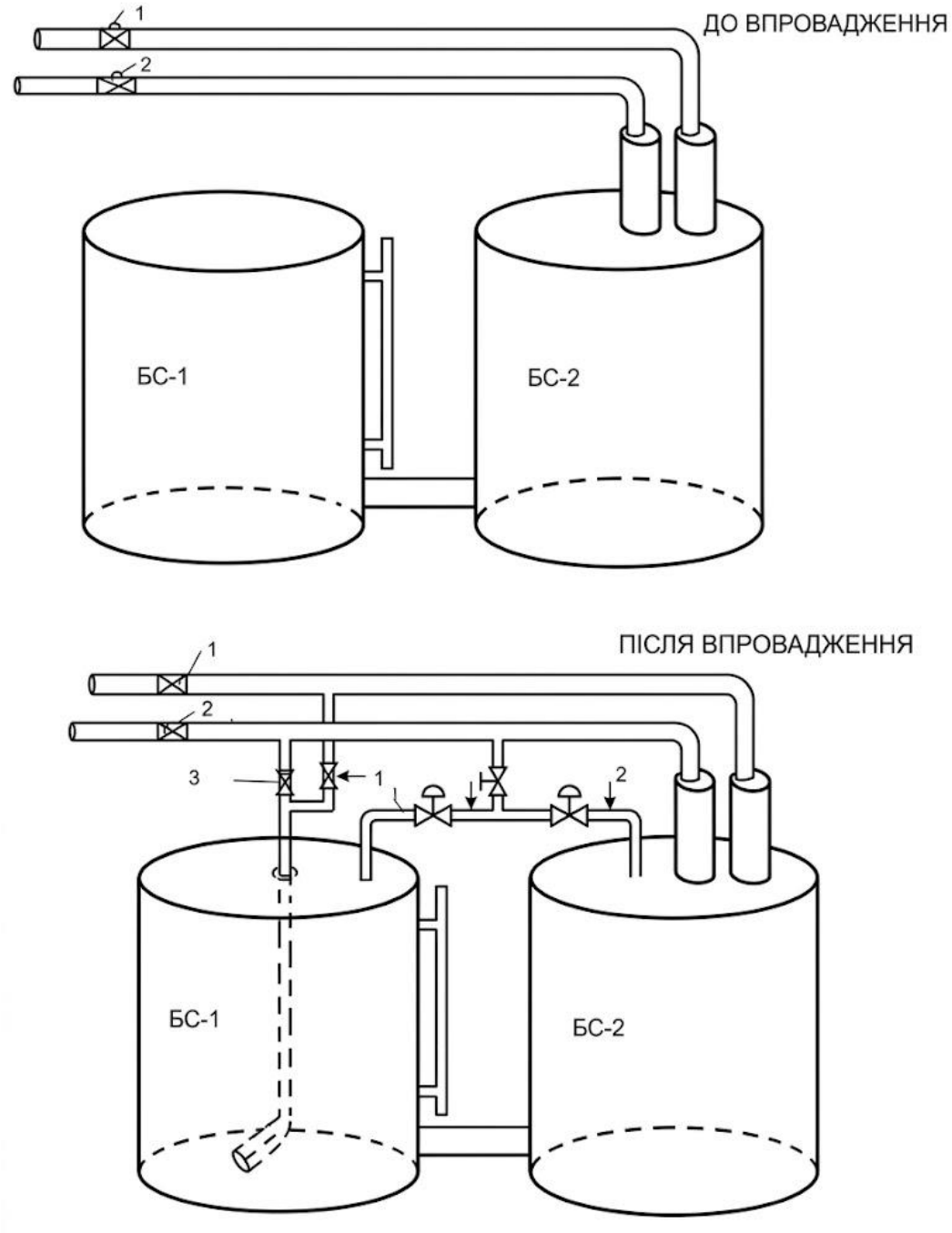
Рідкі відходи титанового виробництва, що утворюються в результаті очищення кислих газів водою та вапняним "молоком", представлені соляною кислотою, забрудненою домішками та гіпохлоритною пульпою. Гіпохлоритна пульпа, яку одержують на газоочищенні з вмістом активного хлору (100-120) г/л, знаходить застосування в очищенні стічних вод збагачувальних фабрик, хімічних виробництв. До споживачів її транспортують у рідкому вигляді. Щоб уникнути перевезень води разом із гіпохлоритом розробляють технологію та апаратуру для отримання гіпохлоритних паст та порошків із застосуванням вакуумних процесів. Перспективний варіант переробки гіпохлоритних пульп та кислих стоків – розкладання гіпохлоритної пульпи соляною кислотою з отриманням газоподібного концентрованого хлору. Тут необхідно вирішити питання про використання розбавленого хлориду кальцію, що утворюється.

Потрібно зробити ще багато для того, щоб титанове виробництво стало дійсно безвідходним з повним комплексним використанням сировини, що містить титан.

3.1 Пропозиція щодо усунення недоліків

Як показує практика, у процесі експлуатації у збірному баку технічного тетрахлориду титану (1) (рисунок 3.1) накопичуються тверді опади. При цьому висота їх від днища бака може досягати (70-80) см. Твердий осад накопичується біля патрубка, що з'єднує збірний бак (1) з баком збірним (2), на якому знаходяться насоси для відкачування TiCl4, і перекриває його. Для видалення відходів доводиться додатково розкривати систему, при цьому відбувається підсмоктування в системі конденсації $TiCl_4$, в результаті контакту з повітряним середовищем, виходять з ладу

хвостові вентилятори; в результаті гідролізу $TiCl_4$ збірний бак засмічується хлоридами.



1, 2-вентиля регулювання від хитавиці TiCl4 на переділ відстоювання технічного тетрахлориду титану; 3,4 - вентиля регулювання репульпації днища БС-1.

Рисунок 3.1 - Бак збірний для $TiCl_4$, сольового хлоратора, до та після впровадження пропозиції

Метою пропозиції є стабілізація (покращення) умов експлуатації збірного бака з допомогою виведення твердого осаду.

Пропоную виводити тверді опади шляхом репульпації днища бака збірного (1) при відкачуванні $TiCl_4$ на відстійники.

Для реалізації цього прийому збірний бак (1) опускається патрубок (рисунок 3.1), через який подається ТТТ від насосів ТХІ бака №2. Патрубки кріпляться до кришки бака з фланцевим з'єднанням. Лінію репульпації бака доцільно протягнути від лінії відкачування TiCl4 на відстійники, зробивши врізання патрубків перед вентилями 1, 2 і встановити вентиля 3,4 регулювання репульпації днища збірного бака 1. Лінія репульпації БС-1 повинна проходити під майданчиком до кришки, фланцевим з'єднанням патрубка. Патрубок не повинен сягати днища БС-1 150-200 мм. Патрубок виготовляють із труби ст-3 d = 80мм.

При використанні цього прийому будуть усунуті перераховані вище недоліки, і буде повніше використовуватися потенціал насосів відкачування $TiCl_4$, а також знижуються трудовитрати.

3.2 Основні шкідливості та небезпеки

Пил титановмісної сировиниприсутній в атмосфері виробничих приміщень переділів отримання титанових шлаків, підготовки сировини та хлорування. Гранично-допустима концентрація (ГДК) їх у атмосфері виробничих приміщень становить10 мг/м^3. Цей пил є нейтральним продуктом.

Пил коксу присутній в атмосфері виробничих приміщень ділянки підготовки сировини та хлорування. ГДК її в атмосфері виробничих приміщень дорівнює 5 мг/м^3. В умовах виробництва $TiC1_4$ цей вуглецевмісний пил є пожежонебезпечним, а за певних умов він може бути і вибухонебезпечним.

При роботі з відкритим вогнем, щоб уникнути займання меленого

коксу, рекомендується змочити водою робочий майданчик. Для гасіння пожежі в бункерах із коксом доцільно застосовувати інертний газ – аргон. Мелений кокс, що має розвинену поверхню, при тривалому зберіганні в умовах підвищеної вологості та температури може розкладатися з утворенням токсичної та вибухонебезпечної ЗІ. Необхідно уникати тривалого зберігання меленого коксу та вентилювати ємності з цим продуктом. Ремонтні роботи всередині ємностей з коксом проводять після повного звільнення від нього та за наявності даних хімічного аналізу про відсутність СО.

Захист органів дихання від пилу коксу та титановмісної сировини здійснюють за допомогою респіратора „Пелюсток”.

Тетрахлорид титанупотрапляє в атмосферу виробничих поприміщень у вигляді рідини або пари при розгерметизації обладнання. $TiC1_4$ при взаємодії з вологою повітря утворює токсичний хлористий водень HC1, який, адсорбуючись на частинках пилу титану оксохлориду, здатний проникати в легені. Токсичні пари HCl вражають слизові оболонки верхніх дихальних шляхів та викликають бронхіти. $TiC1_4$ при попаданні на шкіру дає опіки II і III ступенів, що важко загоюються. З цієї причини гранично-допустима концентрація для HC1, що утворився від гідролізу $TiC1_4$, в атмосфері виробничих приміщень є жорсткою і становить 1 мг/м.

Захист - носіння сукняного спецодягу, гумових чобіт, кислотостійких рукавиць та протигазу з коробкою БКФ (М або В). При вмісті шкідливих речовин у повітрі понад 2 % (за масою) ці протигази не ефективні, і використовують кисневий ізолюючий або шланговий протигази. У разі потрапляння рідкого $TiC1_4$ на незахищену частину тіла необхідно витерти шкіру чистим рушником, а потім швидко промити слабким розчином питної соди або струменем води.

Пари хлору можуть з'являтися на переділі хлорування та рідше на ділянці очищення $TiC1_4$. Вони потрапляють в атмосферу цеху при розгерметизації обладнання. ГДК хлору у атмосфері виробничих приміщень

становить 1 мг/м^3. Першими ознаками отруєння є біль у грудній клітці, різь у власних очах, сльозоточення, болісний задушливий кашель. При отруєнні високими концентраціями хлору може моментально настати смерть. Працюючи з рідким хлором робочим видається профілактичне спецхарчування. Перша допомога - негайне видалення із зараженої атмосфери зі звільненням від одягу, що стискає, тривале вдихання кисню. Індивідуальними захисними засобами є протигаз із коробкою БКФ (М або В) [при вмісті хлору менше 2 % (за Масою)], а також кисневий ізолюючий та шланговий протигази.

Фосген міститься в технічномуТіС1$_4$, газах хлоратора, що відходять, ректифікаційних колон. ГДК їх у атмосфері виробничих приміщень становить 0,5 мг/м^3. Фосген - отруйний газ із задушливим неприємним запахом, що нагадує запах гнилих яблук або прілого сіна. Першими ознаками отруєння є втрата нюху та смаку (зокрема змінюється смак тютюнового диму), нудота, сонливість, млявість. Іноді ознаки отруєння фосгеном з'являються не відразу, а (4-8) год і навіть пізніше. При отруєнні необхідно змінити білизну, одяг та звернутися до медпункту. Захист органів дихання здійснюється тими самими засобами, як і від парів хлористого водню і хлору.

Оксид вуглецю міститься в технічномуТіС1$_4$, що відходять в газах рудотермічної печі, хлоратора, ректифікаційних колон, а також у ємностях меленого коксу. ГДК її у атмосфері виробничих приміщень становить 20 мг/м^3. Оксид вуглецю - безбарвний отруйний газ, без смаку та запаху. При вмісті в повітрі (12,5-74,0) % утворюється вибухонебезпечна суміш. Оксид вуглецю викликає тяжкі отруєння кровоносно-судинної системи, руйнує гемоглобін крові. Ознаки отруєння: погане самопочуття, запаморочення, біль у лобовій частині та скронях, шум у вухах, почуття слабкості, блювання. Перша допомога - негайне видалення із зараженої атмосфери, вдихання кисню та подальше відправлення потерпілого до медпункту. Індивідуальними засобами захисту органів дихання при вмісті СО не більше

2 % (за масою) є протигази з коробками СО, М, БКФ (з гопкалітовими патронами) і (з гопкалітовим патроном). При великих вмістах СО використовують кисневий ізолюючий та шланговий протигази.

Аміак (NH_3) застосовують на холодильних установках як холодоносій. В атмосферу виробничих приміщень він може потрапляти при розгерметизації обладнання. ГДК аміаку цих приміщень становить 20 мг/м^3. Температура кипіння NH_3 при 100 кПа дорівнює -33 ° С, і тому в умовах виробництва він зазвичай знаходиться в пароподібному стані. Пари NH_3 є безбарвним газом з задушливим різким запахом і їдким смаком. При кімнатній температурі та тиску ~ 100 кПа вибухають суміші складу (14,5-26,8) % (об'ємн.) NH_3, решта - повітря. Перша допомога при отруєнні – свіже повітря, кисень та пари оцтової кислоти (вдихання); при сильному отруєнні – штучне дихання. Індивідуальні засоби захисту органів дихання – протигази з коробками КД, М, а також кисневий ізолюючий та шланговий протигази.

Рідкий титановий шлак, чавун, розплав хлораторів мають підвищену температуру і при попаданні на тіло викликають термічні і хімічні опіки, що довго не гояться. Ці розплави несумісні з водою: потрапляння води до розплаву або навпаки, як правило, призводить до вибуху. Захист від ураження розплавами: носіння сукняних спецодягу та капелюха, валянок, спецрукавиць, одягання протигазу.

У виробництві тетрахлориду титану робітник постійно пов'язаний із обслуговуванням механізмів, обладнання з електроприводами (а саме: трансформатор трифазний - ЕТМНК 1600/10, подача електроенергії на сольовий хлоратор, 9 ступенів перемикання навантаження; електичний двигун - П = 1500 об / хв., потужність = 4,0 кВт, завантаження шихти з приймального бункера у видатковий бункер; електричний двигун - потужність = 4,2 кВт; П=1500 об/хв; завантаження шихти з видаткового бункера в хлоратор; електричний двигун – потужність – 75 кВт, П – 1480 об/хв, для подачі циркуляційної пульпи зрошення; електричний двигун -

потужність - 11 кВт, П = 2900 об/хв; подача пульпи в хлоратор; ел. двигун - обладнаний пропелерною мішалкою для перемішування пульпи; ел. двигун – потужність = 10кВт; П = 1500 об/хв, повернення пульпи в танк зрошувальних скруберів; ел. двигун - потужність 55 кВт, П=1400 об/хв, служить для перекачування технічного тетрахлориду титану (у міру накопичення) на вузол відстою; ел. двигун - потужністю = 18,5 кВт., П = 1465 об / хв, служить для транспортування парогазової суміші від хлоратора по апаратах системи конденсації, створення розрядження по системі і скидання газів, що відходять на комплексне газоочищення), де існує небезпека ураження струмом.

Потрібно пам'ятати, що поразка струмом залежить немає від величини напруги, як від сили струму, що проходить через тіло людини. Безпечним є струм до0,05 А. Струм 0,1 А і вище смертельний для людини. Такий струм може виникнути за несприятливих умов (сире приміщення, спітнілі руки та ноги людини, збуджений стан нервової системи) вже при напрузі 50 В.

Відомі такі види уражень електричним струмом: електричний удар, що виникає при безпосередньому контакті з струмоведучою частиною, та електричні травми - ураження зовнішніх частин тіла (опіки від дії електричної дуги, ураження очей від променистої дуги або опіків).

Перша допомога постраждалим полягає у негайному звільненні від джерела струму та застосуванні штучного дихання.Запобіжні заходи - надійне заземлення обладнання та металевих споруд. Для захисту очей від опіків застосовують захисні окуляри та спеціальні щитки. У місцях встановлення рубильників повинні бути гумові килимки.

3.3 Виробнича санітарія

Важливе значення для безпечних умов праці має дотримання робітниками виробничої та трудової дисципліни. Запізнення та передчасний звільнення з роботи, ігнорування правил носіння захисного

одягу, спецвзуття, засобів захисту органів дихання, виконанняня чужих функцій, робота на несправному устаткуванні - основні причини аварій та нещасних випадків на виробництві.

Для профілактики виробничого травматизму, профзахворювань, виключення аварій у виробництві тетрахлориду титану впроваджено систему управління охороною праці. На всіх підприємствах, у всіх цехах створюються кабінети з охорони праці, покликані стати центрами підвищення знань працюючих, виховання в дусі свідомого ставлення до виконання вимог техніки безпеки та виробничої санітарії. Адміністрація підприємств, цехів має розробляти щорічні і п'ятирічні плани з охорони праці, проводити аналіз виробничого травматизму.

До побутових відносяться приміщення для задоволення санітарних і побутових потреб трудящих під час перебування їх на роботі: приміщення для прийому їжі, вбиральні, душові, вбиральні, умивальні, курильні, пральні, кімнати особистої гігієни жінок, годування грудних дітей, обігріву працюючих та питного водопостачання. Крім того, має бутиприміщене приміщення для Червоного куточка. Призначення, влаштування, площі та обладнання побутових приміщень встановлюються залежно від санітарної характеристики виробничих процесів.

3.4 Протипожежна безпека

Управління пожежної охорони та їх органи у порядку державного пожежного нагляду розробляють та видають обов'язкові для всіх відомств, установ, підприємств, організацій та окремих осіб правила, інструкція та технічні норми щодо протипожежної охорони; здійснюють контроль за виконанням затверджених положень, а також дотриманням протипожежних заходів при проектуванні та експлуатації підприємств; проводять експертизи проектів у частині пожежної безпеки та беруть участь у прийманні готових об'єктів; встановлюють порядок спільної роботи

пожежних організацій, використання їх технічного озброєння для запобігання та ліквідації пожеж та стихійних лих; здійснюють контроль та перевірку готовності пожежних організацій та справності засобів гасіння пожеж у всіх відомствах, установах та організаціях.

Завдання пожежної охорони підприємств (та інших об'єктів): виявлення та усунення можливих причин виникнення та поширення пожеж та створення умов для їх ефективного гасіння; підготовка особового складу пожежних частин та навчання персоналу; гасіння пожеж та ліквідація їх наслідків.

Відповідальність за дотримання необхідного протипожежного режиму та своєчасне виконання протипожежних заходів покладається на керівника підприємства та начальників цехів (складів, майстерень тощо).

Відповідальні за пожежну безпеку на окремих ділянках особи призначаються наказом керівника підприємства (організації).

Керівник підприємства наказом призначає пожежно-технічну комісію, до складу якої входять головний інженер (голова), начальник пожежної охорони, енергетик, технолог, механік, інженер з техніки безпеки, будівельник та інші фахівці.

Завдання пожежно-технічної комісії: виявлення порушень та недоліків технологічних режимів, що можуть призвести до виникнення пожеж; розробка заходів щодо їх усунення; сприяння органам пожежного нагляду в їх роботі та створення суворо протипожежного режиму; організація масово-роз'яснювальної роботи серед персоналу.

Для зменшення небезпеки виникнення та поширення пожеж важливе значення має раціональний устрій підприємств та цехів. Відповідні вимоги регламентують будівельні норми та правила.

Для обмеження поширення вогню застосовують вогнетривкі конструкції; встановлюють протипожежні перешкоди, покриття, що легко скидаються; збільшують площі засклених отворів; роблять у конструкції будівель отвори, відкривання та закривання яких регулюють залежно від

умов розвитку пожежі; влаштовують протипожежні стіни, перекриття та протипожежні завіси.

У кожній будівлі забезпечують можливість швидкої безпечної евакуації людей у разі пожежі. Виходи вважаються евакуаційними, якщо вони ведуть: а) із приміщень першого поверху назовні (безпосередньо чи через коридор, вестибюль, сходову клітку); б) з приміщень решти поверхів на сходову клітку, що має вихід назовні або у вестибюль, у коридор, прохід, що веде до цієї сходової клітини; в) із приміщення до сусідніх приміщень на тому ж поверсі, що мають зазначені евакуаційні виходи.

Ефективність та короткочасність процесу евакуації досягається пристроєм певного числа шляхів евакуації, встановленої довжини та ширини

3.5 Розрахунок тиску під час вибуху

Обчислити тиск під час вибуху суміші окису вуглецю з повітрям, якщо P_0 =1 атм.; T_0 = 473 К; $T_{виб}$ = 2416 К.

При отриманні технічного тетрахлориду титану методом хлорування титановмісних шихти, можливе утворення окису вуглецю. У разі виникнення надлишкового тиску окис вуглецю здатний призвести до вибуху, що в свою чергу може призвести до руйнування технологічного обладнання та будов, а також травмування обслуговуючого персоналу.

Тиск під час вибуху газоповітряних сумішей можна розраховувати, скориставшись формулою:

$$P_{виб} = \left(\frac{P_0 \cdot T_{виб}}{T_0}\right) \cdot \left(\frac{m}{n}\right),$$

де: T_0 та $T_{виб}$ – початкова температура суміші та температура вибуху, К;

P_0 та $P_{виб}$ – початковий і кінцевий тиск газів, атм;

m – кількість молекул продуктів горіння після вибуху;

n – число молекул суміші до вибуху.

Знаходимо число молекул до та після вибуху:

$$2CO + O_2 + 3{,}76N_2 = 2CO_2 + 3{,}76N$$

$$m = 5{,}76$$

$$n = 6{,}76$$

$$P_{\text{виб}} = \left(\frac{1 \cdot 2416}{293}\right) \cdot \left(\frac{5{,}76}{6{,}76}\right) = 7 \text{ атм}$$

Відповідно тиск під час вибуху суміші окису вуглецю з повітрям складе $P_{\text{виб}}$.= 7 атм. Для того, щоб не сталося вибуху, який може призвести до руйнування технологічного обладнання та будівель, а також травмування обслуговуючого персоналу, на технологічному обладнанні передбачені вибухові клапани, що знаходяться на сольовому хлораторі. У зв'язку з високою температурою процесу вибухові клапани виготовляються із листового азбесту.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У процесі виконання літературного образу з'ясовано, що найбільш прийнятним способом одержання чотирихлористого титану є одержання його шляхом хлорування подрібненої шихти у розплаві хлоридів.

Хлорування - це процес, в якому хлор взаємодіє з оксидом металу або іншими сполуками, утворюючи хлорид або оксихлорид металу. Хлор у своїй заміщає кисень в оксиді. Хлориди металів мають різну температуру плавлення та кипіння, що дозволяє в процесі хлорування, а також спеціальним очищенням виділити чистий основний хлорид титану, з якого відновленням або електролізом можна отримати чистий метал. Оксиди металів мають різну схильність до хлорування. Як відновник зазвичай використовують вуглець, який зв'язує кисень, що виділяється при хлоруванні в CO_2 і CO.

Важливе значення розуміння процесу хлорування діоксиду титану у присутності вуглецю має послідовність протікання реакцій, тобто. механізм процесу хлорування. Хлорування оксидів у присутності вуглецю є багатоступеневим процесом і протікає кілька стадій.

Швидкість хлорування діоксиду титану залежить від багатьох факторів: температури процесу, активності хлорованих оксидів, виду відновника та хлоруючого агента, природи розплаву, каталітичних властивостей компонентів, що беруть участь у реакції, швидкості подачі та концентрації хлоруючого агента і т.д. При хлоруванні в розплаві хлоридів титановмісна сировина і кокс знаходяться у зваженому стані рівномірно по всьому об'єму розплаву. Природа розплаву, що є не тільки середовищем для хлорування оксидів, але й універсальним каталізатором, що підвищує концентрацію атомарного хлору в зоні реакцій, має велике значення. Як показали дослідження, розплавлені солі лужних та лужноземельних металів, а також хлориди заліза та алюмінію відіграють активну роль у процесі. Особливо сильно на швидкість хлорування впливає присутність домішок

заліза і алюмінію, що легко хлоруються. Встановлено, що присутність хлоридів заліза та алюмінію збільшує швидкість хлорування у кілька разів. Хлористий алюміній також прискорює процес, але меншою мірою. Слід зважати на неміцність хлоридів багатовалентних металів, властивості яких близькі до властивостей хлору. Зі збільшенням температури вищі хлориди або дисоціюють із виділенням атомарного хлору або реагують з оксидами.

Концентрація хлору істотно впливає на процес хлорування. Звичайний анодний хлоргаз, що застосовується для хлорування титанової сировини, містить (70-90) % (об'ємні) хлору, решта - повітря. Кисень, що міститься в хлорувальному агенті, є як би конкурентом хлору і його відносний вплив на процес хлорування не повною мірою усувається участю вуглецю в реакції. Таким чином, концентрація хлору в анодному хлоргазі має важливе значення. Вирішення цієї проблеми має йти двома шляхами: підвищенням концентрації хлору в анодному хлоргазі електролізних виробництв або організацією переділу зі збагачення анодного хлору. Другий шлях цікавий також тим, що дозволяє створювати гнучкий зв'язок між споживачами та виробниками хлору. Співвідношення TiO_2/C у шихті розраховане на роботу сольового хлоратора при об'ємній частині хлору в анодному хлор-газі 80%. При зміні об'ємної частки хлору співвідношення TiO_2/C розраховується задля забезпечення ведення технології прийнятному режимі. Вилучення всіх цінних компонентів з відходів, створення безвідходної технології - важливе завдання, що стоїть перед проектними, дослідницькими організаціями та колективами заводів за подальшого вдосконалення процесу хлорування в розплаві солей.

При впровадженні нововведення, а саме репульпації днища бака збірного, можливо, стабілізувати (поліпшити) умови експлуатації збірного бака за рахунок виведення твердого осаду. Що дає можливість уникнути додаткового розкриття системи конденсації, підсмоктування в системі, контакту з повітряним середовищем, та виходу з ладу хвостових

вентиляторів; гідролізу $TiCl_4$ у збірному баку, засмічення хлоридами технічного тетрахлориду титану.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. A. E. van Arkel, J. H. de Boer. Preparation of pure titanium, zirconium, hafnium, and thorium metal // Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie (in German). 1925. T. 148.

2. W. J. Kroll. How commercial titanium and zirconium were born // J. of the Franklin Institute. 1955. Vol. 260, Issue 3.

3. Назаренко О. К. Электронно-лучевая сварка. Київ, 1965. 235 с.

4. Мовчан Б. А., Тихоновский А. Л., Курапова Ю. А. Электронно-лучевая плавка и рафинирование металлов и сплавов. Київ, 1973. 125 с.

5. Компан Я. Ю. Металлургия и технология сварки титана и его сплавов. Київ, 1978. 205 с.

6. Металлургия и технология сварки титана и его сплавов. Київ, 1979. 124 с.

7. Латаш Ю. В., Константинов В. С., Галкин П. Н. и др. Применение плазменно дуговой технологии при выплавке слитков титана из отходов титанового производства // Проблемы специальной электрометаллургии. 1985. No 3. С45-51.

8. Гуревич С. М., Замков В. Н., Блащук В. Е. и др. Металлургия и технология сварки титановых сплавов и его сплавов. Київ, 1986. 216 с.

9. Латаш Ю. В., Матях В. Н. Современные способы производства слитков особо высокого качества. Київ, 1987. 98 с.

10. Патон Б. Е., Тихоновский А. Л., Тригуб Н. П. Электронно-лучевой переплав — ресурсосберегающий процесс вакуумной металлургии // *Автоматическая сварка*, 1988. No 1. С. 56-78.

11. Патон Б. Е., Тригуб Н. П., Козлитин Д. А. и др. Электронно-лучевая плавка. Київ, 1997. С.78-82.

12. Компан Я. Ю., Назарчук А. Т., Протоковилов И. В. К вопросу интенсификации электромагнитного воздействия при магнитоуправляемой электрошлаковой плавке титановых сплавов. *Современная*

электрометаллургия, 2007. №4. С. 3–7.

13. Патон Б. Е., Тригуб Н. П., Ахонин С. В. и др. Развитие технологии электронно-лучевой плавки титана. *Проблемы специальной электрометаллургии*,2000. No 2. С.56-61.

14. Патон Б. Е., Тригуб Н. П., Жук Г. В. и др.. Получение полых титановых слитков методом ЭЛПЕ. *Современная электрометаллургия*, 2004. No 3. С. 23-32.

15. Тригуб Н. П., Ахонин С. В., Жук Г. В. и др.. Электронно-лучевая плавка недробленых блоков губчатого титана. *Современная электрометаллургия*, 2006. No 4. С. 12-18.

16. Ya. Kompan, I. Protokovilov, Y. Fautrelle, Yu. Gelfgat, A. Bojarevics. Magnetically Controlled Electroslag Melting of Titanium Alloys // *Magnetohydrodynamics*, 2010. Vol. 46, No 3. P. 33-39.

17. B. E. Paton, M. P. Trygub, S. V. Akhonin. Electron Beam Melting of Titanium, Zirconium and Their Alloys. Київ, 2011. 123 с.

18. Протоковилов И. В., Назарчук А. Т., Петров Д. А., Порохонько В. Б. Технологические и металлургические особенности выплавки слитков титановых сплавов в электрошлаковых печах камерного типа. *Современная электрометаллургия.* 2018. No 2. С. 31-36.

19. Титан / І. В. Протоковілов // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / Редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. — К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2025. — Режим доступу: https://esu.com.ua/article-888040

20. Порохонько В.Б., Протоковилов И.В., Петров Д.А. Особливості електрошлакового зварювання титану з використанням електромагнітних методів впливу. Матеріали ІІ всеукр. науково-практичної конф. “Зварювання та споріднені процеси і технології”, 4-8 вересня 2012 р, Миколаїв. С. 19.