

УТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ФРЕОНІВ ПРИ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНОМУ ОТРИМАННІ ЦИРКОНІЮ, ГАФНІЮ, ТОРІЮ ТА УРАНУ

Нефедов В.Г., д.т.н., проф., Мухачев А.П., канд. ф-мат. наук,
Сухий К.М., д.т.н., проф., Беляновська О.А., к.т.н., доцент, Сухий М.К., студент
Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро

Анотація. Вивчено процеси виділення фреонів із анодних газів при електролітичному отриманні цирконію, гафнію, торію та урану. Розглянуто анодні процеси при виробництві цирконію шляхом електролізу електролітів $K_2ZrF_6 - KCl - KF$, $K_2ZrF_6 - KCl - KF - KI$ та $ZrF_4 - KCl - KF$. Виявлено недоліки застосування традиційного електроліту $K_2ZrF_6 - KCl - KF$. Показано, що введення в електроліт йодистого калію в кількості 0,03-0,5% йоду знижує розряд хлору на аноді та концентрацію його в анодному газі до 1%. Встановлено, що внаслідок зниження розряду KCl у присутності іонів йоду це дозволяє при роботі електролізера з струмовим навантаженням 10кА на електроліті $K_2ZrF_6 - KCl - KF - KI$ підвищити його продуктивність на 6%, знизити витрату KCl з 218,0кг до 40,0кг тоді як зменшення утворення баласту (KF) у 1,8 рази стабілізує рівень електроліту та процес електролізу. Це сприяє тому, що вихід по струму при цьому збільшується до 65%, і зниження витрат електроенергії та солей: при введенні KI витрата суміші солей K_2ZrF_6 і KCl знижується в 1,7 рази, а питома витрата лугу $NaOH$ на очищення газу від хлору падає з 0,7 т до 0,01 т на 1 т. Питома витрата електроенергії знижується на 16 кВт·год/кг. Встановлено, що заміна K_2ZrF_6 на ZrF_4 та зниження фторидності електроліту на 3÷5% сприяє підвищенню електропровідності та виходу по струму до 85 – 90 %, що дозволяє знизити питому витрату електроенергії до 40 кВт·год на 1 кг порошку. Показано, що переробка продуктів анодних реакцій дозволяє отримати фтор-хлорпохідні вуглеводні, зокрема, фреони Ф-11 – Ф-14. Встановлено, що вихід фреону при використанні електроліту $K_2ZrF_6 - KCl - KF$ дорівнює 1,00, $K_2ZrF_6 - KCl - KF - KI - 0,78$ та $ZrF_4 - KCl - KF - 1,50$ кг/кг порошку цирконію. Показана перспективність переробки продуктів анодних реакцій при електролізі розплавів тетрафторидів цирконію, гафнію, торію та урану.

Ключові слова: електроліз розплавів, виробництво цирконію, гафнію, торію та урану, енергоефективність, фреони.

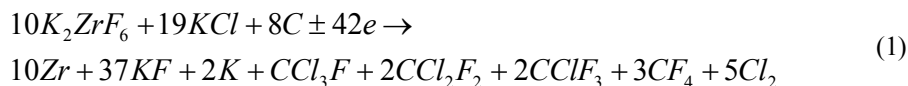
Вступ. Ядерна енергетика є високотехнологічною та небезпечною галуззю енергетики, що працює з іонізуючим випромінюванням та потоками нейтронів, гамма-кванти яких беруть участь у розподілі ядра. Ефективність ядерних процесів залежить як від чистоти компонентів ядерного палива, так і від чистоти конструкційних матеріалів ТВС. Конструкційні матеріали повинні відпрацьовувати необхідний термін служби за умов потужних полів і потоків випромінювань без втрати експлуатаційних властивостей, які становлять для реакторів до 60 років, а для збірок – до 5 років.

До конструкційних матеріалів виготовлення трубок тепловиділяючих елементів (ТВЕл) належить цирконій та його сплави з ніобієм, хромом, оловом і залізом. Цирконій має надзвичайно малий поперечний переріз захоплення нейтронів – 0,18 барн і зберігає міцність при високих температурах. В даний час виробництво цирконію засноване на електролізі розплавленої суміші хлориду калію, фториду калію та фторцирконату калію солей в електролізерах з струмовим навантаженням 10 і 20 кА. В якості анодних продуктів є фтор-хлор-похідних вуглеводів (фреони 11, 12, 13 та 14). Під час використання відкритих електролізерів фреони викидаються в атмосферу, що є надзвичайно небезпечним з точки зору екології, оскільки одна молекула фреона здатна зруйнувати до 10 молекул озону. З іншої сторони, фреони є цінним продуктом під час створення теплових насосів та холодильної техніки.

Мета роботи – опис ресурсо- та енергозберігаючого процесу отримання цирконію та утилізації фтор-хлор-похідних вуглеводів шляхом переробки анодних газів.

Утворення фреонів при отриманні цирконію

Цирконій можна отримувати електролізом кількох складів, зокрема $K_2ZrF_6 - KCl - KF$. Процес виробництва порошку цирконію супроводжується руйнуванням графітового анода та описується наступною сумарною реакцією (1- 3)



В результаті сильної деполяризації при взаємодії з вуглецем потенціал розряду фтор-іонів знижується з 2,93 до 0,9 В, що виявляється нижче потенціалу розряду іонів хлору, рівного 1,2В при температурі 700 °С. При цьому на аноді протікають дві електрохімічні реакції:



На фториді вуглецю потенціал розряду іона хлору знижується до 0,78В і при цьому може протікати реакція:



При взаємодії CF з хлором утворюються термодинамічно нестійка сполука CFCl, яка розпадається на ряд більш стійких фреонів складу $CF_{4-m}Cl_m$ (де m=0, 1, 2, 3):



Фреони, що утворюються, термодинамічно стійкі і виділяються в складі анодного газу. При надлишку фтор-іону в електроліті прискорюється процес утворення цетирифтористого вуглецю, що призводить до виникнення анодного ефекту і знижує вихід струму цирконію.



Цей процес може протікати лише за електрохімічним механізмом. Концентрація цетирифтористого вуглецю в анодному газі за нормального перебігу процесу електролізу не перевищує 20%. Сума вмісту фреонів 11, 12, 13 також не перевищує 20%. Вміст хлору в анодному газі становить приблизно 60%.

Участь вуглецю в анодному процесі призводить до руйнування анода за 50 діб безперервного ведення електролізу. Питома витрата графіту становить 600кг на 1т цирконієвого порошку. Вихід складних фреонів досягає 1т на 1т порошку, що потребує їх повної переробки для утилізації фтору та хлору, оскільки взаємодія фреонів з озоновим шаром атмосфери призводить до його знищення.

Аналізи складу анодного газу показали такі концентрації фреонів: Ф-11 - 5±1%, Ф-12 - 4±1%, Ф-13 - 9±2%, Ф-14 - 18±2% і хлору 57±3% при сумі Co , CO_2 , O_2 і N_2 рівній 5%. Таким чином, доля фреонів в анодному газі складає, приблизно, 36%, а доля кожного фреона β в суміші фреонів Ф-11 - 14%, Ф-12 - 11%, Ф-13 - 25%, Ф-14 - 50%

Електрохімічні еквіваленти хлору і фреонів Ф-11, Ф-12, Ф-13 і Ф-14 визначаються з суммарного рівняння за формулою:

$$k = \frac{\nu M}{zF} \quad (11)$$

та складають, відповідно $k_{Cl_2}=0,33\text{г/Агод}$, $k_{Ф11}=0,128\text{г/Агод}$; $k_{Ф12}=0,225\text{г/Агод}$; $k_{Ф13}=0,195 \text{ г/Агод}$; $k_{Ф14}=0,246 \text{ г/Агод}$.

На виділення хлору витрачається, відповідно,

$$Q_{Cl_2} = \frac{M}{k_{Cl_2}} = \frac{600 \times 10^3}{0,33} = 1,81 \times 10^6 \text{ Агод} \quad (12)$$

а на виділення фреонів –

$$Q_{\Phi} = \frac{M_{\Phi}}{\left(\frac{\beta}{k}\right)_{\Phi 11} + \left(\frac{\beta}{k}\right)_{\Phi 12} + \left(\frac{\beta}{k}\right)_{\Phi 13} + \left(\frac{\beta}{k}\right)_{\Phi 14}} = \frac{10^6}{4,88} = 0,205 \times 10^6 \text{ Агод} \quad (13)$$

Підсумовуючи результати отримання цирконію з електроліту $K_2ZrF_6 - KCl - KF$, можна відзначити, що основними недоліками цього процесу є:

- велика витрата хлористого калію, для підтримки концентрації хлору в електроліті 10%;
- утворення агресивного анодного газу, що складається із суміші хлору (50-60%) та небезпечних для озону атмосферних фреонів Ф11-Ф14;
- накопичення в електроліті KF, що вимагає періодичного зливу електроліту з погіршенням якості порошку. Злив електроліту з ванни призводить до підвищених витрат електроенергії, збільшення витрати солі Zr, що збільшує собівартість переділу електролізу;

- підвищення вмісту фтору в електроліті призводить до погіршення змочуваності анода та прояву анодного ефекту, внаслідок чого різко збільшується напруга на електродах, зростають енерговитрати та прискорюється процес руйнування анодів.

З метою усунення одного з недоліків процесу електролізу, що полягає у попутному розкладанні хлористого калію з утворенням металевого калію на катоді, та хлору на аноді, за реакцією:



В електроліт вводився йодистий калій у кількості 0,03-0,5% йоду. Аналіз анодного газу показав, що при введенні електроліту добавки KI зменшується розряд хлору на аноді і його концентрація в анодному газі знижується до 1%. Хлору, що виділяється, достатньо лише для утворення фреону-13. В анодному газі міститься $CClF_3$ – 35%, CF_4 – 60%, решта – домішки N_2 , O_2 , CO і CO_2 . Наявність в анодному газі всього двох фреонів дозволяє провести процес їх поділу і ліквідувати скидання фреонів в атмосферу. Оскільки йоду в анодному газі не виявлено, і вміст електроліту в процесі електролізу залишається приблизно постійним, можна припустити два варіанти протікання анодного процесу.

1. Йод сорбується на аноді, збільшуючи його змочуваність, але не входить у електрохімічну реакцію. Цей варіант з точки зору термодинаміки малоімовірний, оскільки потенціал виділення йоду з розплаву індивідуальної солі при температурі 700 °C становить +0,146В [4], що значно менше, ніж хлору та фтору, навіть з урахуванням їхньої деполяризації.

2. Йод окислюється на аноді за реакцією:

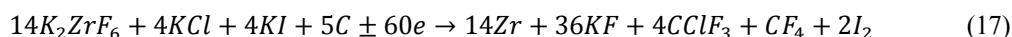


і тут же в прианодному шарі електроліту відновлюється іонами двовалентного цирконію:



Після чого знову бере участь у анодному процесі.

У цьому випадку сумарну реакцію одержання цирконію можна навести, як:



Незважаючи на відносно невеликий вміст йоду в електроліті, реакції (1) та (2) мають термодинамічні переваги в порівнянні з розрядом хлору. Швидкість розряду хлору при цьому знижується на порядок, з 0,8 кг до 0,05 кг на 1 кг порошку за добу. Хлор виділяється на фтористому вуглєці за реакціями:



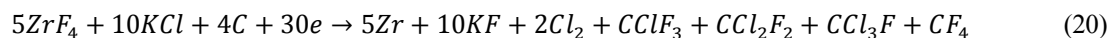
Деполяризація розряду іону фтору спочатку йде на поверхні графіту, а потім на сполуці, що утворюється CF . Виділення фтору при даному складі електроліту починається при $E=0,9В$, що дозволяє йому випередити розряд хлору та вступити в реакцію з вуглєцем.

Поява на аноді термодинамічної міцної сполуки CF_4 підтримує деполяризацію розряду іону фтору на чистій поверхні графіту і призводить до прискорення швидкості руйнування графіту внаслідок анодного ефекту. Витрата графіту при утворенні фреонів 13 і 14 (12,3 кг/добу) помітно перевищує його витрату (7 кг/добу) при спільному отриманні хлору та суміші фреонів 11, 12, 13, 14. Вміст фреону 14 в анодному газі при введенні KI збільшується втричі, з 20% до 60%, а CF_3Cl з 5% до 35%. Утворення фреонів 11 та 12 у цьому випадку відсутня або знижується на порядок.

Аналіз роботи електролізера з струмовим навантаженням 10кА на електроліті $K_2ZrF_6 - KCl - KF - KI$ показав, що його продуктивність зростає на 6%. Витрата KCl знижується з 218,0 кг до 40,0 кг на добу. Зниження розряду KCl у присутності іонів йоду призводить до зменшення утворення баласту (KF) у 1,8 раза, стабілізує рівень електроліту та процес електролізу. Вихід струму при цьому зростає до 65%, знижується витрата електроенергії та солей. Концентрація F^- в електроліті знижується з 27,0 до 22,0 %. Сумарно витрата суміші солей K_2ZrF_6 і KCl , при введенні KI, знижується з 578 до 340 кг на добу, тобто. у 1,7 раза. Питома витрата лугу $NaOH$ на очищення газу від хлору у зв'язку зі скороченням його виходу знижується з 0,7 т до 0,01 т на 1 т Zr .

Загалом це призводить до зниження витрати електроенергії з 56 кВт·год/кг порошку цирконію до 40кВт·год/кг.

Сумарну реакцію отримання цирконію з електроліту ZrF_4-KCl можна навесити, як:



Заміна K_2ZrF_6 на ZrF_4 не впливає на механізм розряду галогенів на аноді. Кількість фреонів, що утворюються, визначається наявністю на аноді вільних хлору і фтору. На 1 кг порошку цирконію розряджається 0,83кг фтору, і лише 0,06 кг фтору виділяється у газову фазу і утворює фреони, решта фтору йде на утворення KF . Розряд іону хлору на аноді як побічний процес, викликає підвищену витрату KCl , у результаті

частина фтору зв'язується з калієм. Відсутність KF у ZrF_4 та зниження фторидності електроліту на 3÷5% робить електроліт менш в'язким та більш електропровідним, що знижує витрату електроенергії.

Вміст CF_4 в анодному газі становить менше 20 %, проте в результаті анодного ефекту, він може зрости до 30% і більше. Це прискорює руйнування анода та збільшує вміст вуглецю в катодному продукті. Найбільша швидкість руйнування анода спостерігається в електроліті $K_2ZrF_6 - KCl - KF$. Вона дорівнює 0,7 кг вуглецю на 1 кг порошку. Швидкість руйнування анода в електроліті $K_2ZrF_6 - KCl - KF - KI$ та $ZrF_4 - KCl - KF$ практично однакова і становить 0,11 та 0,13 кг на 1 кг порошку цирконію. У порівнянні з першим електролітом вона зменшується в 6 разів, що спричинено, зниженням концентрації KF в електроліті на 5-7% та підвищенням концентрації Zr на 20 %. Склад електроліту впливає і на процес розряду іонів хлору. Вихід хлору та фреонів на аноді та витрата електроенергії при різних складах електроліту показані у таблиці.

Таблиця 1

Вихід хлору та фреонів на аноді і витрата електроенергії при різних складах електроліту

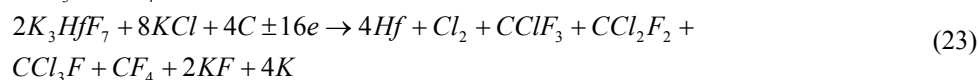
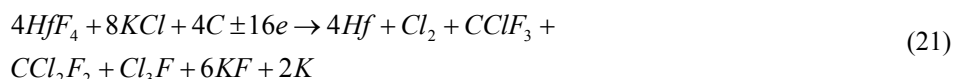
№ з/п	Електроліт /Склад	Вихід по струму цирконію, %	Вихід фреонів, кг/1кг порошку	Витрата електроенергії кВтгод/кг	Вихід хлору на 1 кг порошку
1.	$K_2ZrF_6 - KCl - KF$	55,0	1,00	70,0	0,60
2.	$K_2ZrF_6 - KCl - KF - KI$	65,0	0,78	56,0	0,05
3.	$ZrF_4 - KCl - KF$	85-90,0	1,50	40,0	0,74

Вміст Zr у солі ZrF_4 , порівняно з K_2ZrF_6 , зростає з 32,1 % до 54 %, що дозволяє підвищити концентрацію Zr в електроліті на 20 %, до 6,0 % та збільшити продуктивність електролізера зі 160 до 180 кг порошку на добу. У процесі електролізу KF утворюється у кількості, достатній, щоб рівень електроліту у ванні був постійним.

Заміна солі збільшила вихід струму до більш, ніж 85 %, що дозволило знизити питому витрату електроенергії з 56,0 кВт·год до 40 кВт·год на 1 кг порошку. Час роботи електролізу в закритому режимі зростає за рахунок виключення операції зливу електроліту до 90 %, що покращує якість порошку та знижує його собівартість.

Аналогічні процеси відбуваються при електролізі розплавів тетрафториду гафнію, торію та урану.

Осадження гафнію вели з розплаву солей тетрафториду гафнію, гексафториду калію та гептафторгафна-ту калію. Процес електролізу у цих солях можна описати рівняннями:



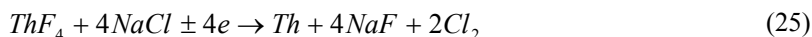
Анодні процеси при електролізі гафнію подібні до процесів при електролізі цирконію. У хлоридних електролітах виділяється лише хлор, який повертається у процес одержання тетрахлориду гафнію. Додавання до електроліту фтористих солей при великих концентраціях аніону фтору може призвести до виділення замість хлору фторвуглеців:



Потенціал виділення фтору позитивніше, ніж хлору, але вони можуть виділятися одночасно за рахунок утворення зв'язків фтору з вуглецем та деполяризації анода. Такий механізм може бути запропонований у разі електролізу фтор-натрієвих електролітів [4]. Зростання концентрації фтору в електроліті веде до зменшення кількості хлору в анодному газі за одночасного збільшення вмісту фреонів. Утворення фторвуглеців забезпечує помітну деполяризацію анода та зсув потенціалу в електронегативний бік. Збільшенню виходу фреонів та зниженню поляризації сприяє підвищення температури розплаву, яке сприяє зниженню в'язкості розплаву та збільшення змочуваності графіту. Найявність фторвуглеців було визначено за допомогою розчину йодистого калію методом інфрачервоної спектроскопії [5].

Електролітичне отримання торію можливе при використанні хлоридно-фторидних електролітів. Для електролізу застосовувалася екімолекулярна суміш натрію хлоридів і калію з добавкою 15÷20% ThF_4 або $KThF_5$. Температура електролізу становила 800÷820°C. При нижчих температурах електроліт в'язкий, що сприяє великому його винесенню, а за більш високих – зменшується вихід струму. Початкова катодна щільність струму 11÷19 А/см².

У процесі електролізу на катоді виділявся торій, а на аноді – хлор:



При значному збідненні електроліту хлоридами на аноді починає розряджатися фтор, що взаємодіє з матеріалом анода з утворенням CF_4 :



Низькотемпературний електроліз розплавлених солей урану проводиться при температурах 375-425°C, що значно нижче температури плавлення урану (1133°C). Продукт при цьому утворюється у вигляді порошку або дендритів. Середньотемпературний електроліз при температурі 800÷900°C також дає осад, а при високотемпературному електролізі уран отримують в рідкому вигляді.

Високотемпературний електроліз проводиться при температурі 1175÷1200 °C суміші солей складу 40 % BaF_2 ; 40 % MgF_2 ; 20 % UF_4 . Гранична густина струму на початок анодного ефекту становить 36А/см².

Гази, що виділяються на аноді, складаються, переважно, CO та CO_2 з деякою кількістю CF_4 . Склад газів залежить від концентрації UF_4 . Якщо концентрація UF_4 більше 10 %, вміст CO в анодному газі досягає 75÷82 %, якщо концентрація UF_4 менше 10 % - менше 50 %.

Висновки. Розглянуто процеси одержання фреонів шляхом переробки анодних газів при електролітичному отриманні цирконію, гафнію, торію та урану. Проаналізовано анодні процеси при виробництві цирконію з різних електролітів. Показано недоліки застосування традиційного електроліту $\text{K}_2\text{ZrF}_6 - \text{KCl} - \text{KF}$. Запропоновано вводити в електроліт йодистий калій у кількості 0,03-0,5 % йоду, що зменшує розряд хлору на аноді і знизити його концентрацію в анодному газі до 1 %. Показано, що при роботі електролізера з струмовим навантаженням 10 кА на електроліті $\text{K}_2\text{ZrF}_6 - \text{KCl} - \text{KF} - \text{KI}$ його продуктивність зростає на 6 %, витрата KCl знижується з 218,0 кг до 40,0 кг на добу, внаслідок зниження розряду KCl у присутності іонів йоду зменшення утворення баласту (KF) у 1,8 раза стабілізує рівень електроліту та процес електролізу. При цьому вихід струму збільшується до 65%, витрата електроенергії та солей знижується. Концентрація F-в електроліті зменшується на 5 %. Витрата суміші солей K_2ZrF_6 і KCl , при введенні KI , знижується в 1,7 рази, питома витрата лугу NaOH на очищення газу від хлору падає з 0,7т до 0,01т на 1т Zr . Це дозволяє знизити питому витрату електроенергії з 56 кВт·год/кг порошку цирконію до 40кВт·год/кг.

Заміна K_2ZrF_6 на ZrF_4 та зниження фторидності електроліту на 3÷5 % робить електроліт менш в'язким та більш електропровідним, сприяє підвищенню виходу струмом до 85 – 90 %, що дозволяє знизити питому витрату електроенергії до 40 кВт·год на 1 кг порошку.

Переробка продуктів анодних процесів дозволяє одержати фреони Φ -11 - Φ -14. Встановлено, що введення в електроліт йодиду калію підвищує вміст фреону 14 в анодному газі, при введенні KI з 20 до 60%, а CF_3Cl з 5 до 35 %, виключити або знизити на порядок утворення фреонів 11 і 12. Максимальний питомий вихід фреонів встановлений для електроліту $\text{ZrF}_4 - \text{KCl} - \text{KF}$.

References

1. Zaharov, E.I., Abramkin, V.F., Kalinin, L.M. et al. (1979). *Primenenie pul'sacionnoj apparatury dlya gidrometallurgicheskoy obrabotki metallicheskih poroshko* [Application of pulsation equipment for hydrometallurgical processing of metal powders].v. M.:Atomizdat (in Russian).
2. Karpacheva S.M. (1972). *Voprosy atomnoj nauki i tekhniki. Ser. Mashiny, apparaty, sredstva mekhanizacii i avtomatizacii proizvodstvennyh processov* [Machines, apparatuses, means of mechanization and automation of production processes], 1 (41) (in Russian).
3. *Razrabotka i primeneniye pul'sacionnoj apparatury* [Development and application of pulsation equipment] (1974). M.:Atomizdat,. 256 s (in Russian)
4. Bajmakov, YU.V., Vetlyukov, M.M. (1966). *Elektroliz rasplavlennyh solej* [Electrolysis of molten salts]. M.:Metallurgiya (in Russian).
5. Titov, V.E., Mishura, A.M., Konyachko, V.G. (2011). *Sovmestnaya elektrohimiicheskaya konversiya freonov S2 s dioksidami sery i ugleroda* [Joint electrochemical conversion of C2 freons with sulfur and carbon dioxide] *Voprosy himii i him. tekhnologii*, 4, 224-226 (in Russian)

ENERGY EFFICIENT METHOD OF OBTAINING ZIRCONIUM, HAFNIUM, THORIUM AND URANIUM

Nefedov V.G., SciD., Prof., Mukhachev A.P., PhD, Sukhyy K.M., SciD., Prof.,
Belyanovskaya E.A., PhD, Assoc. Prof.,
Sukhyy M.K., student

Abstract. The processes of obtaining freons by processing anode gases during the production of nuclear-grade zirconium have been studied. Anode processes in the production of zirconium by electrolysis of $\text{K}_2\text{ZrF}_6 - \text{KCl} - \text{KF}$, $\text{K}_2\text{ZrF}_6 - \text{KCl} - \text{KF} - \text{KI}$ and $\text{ZrF}_4 - \text{KCl} - \text{KF}$ are considered. The disadvantages of using the traditional electrolyte

K_2ZrF_6 - KCl - KF are revealed. It is shown that the introduction of potassium iodide in the amount of 0.03-0.5% iodine into the electrolyte reduces the discharge of chlorine at the anode and its concentration in the anode gas to 1%. It has been established that due to a decrease in the KCl discharge in the presence of iodine ions, this makes it possible, when operating the electrolyzer with a current load of 10 kA on the electrolyte K_2ZrF_6 - KCl - KF - KI , to increase its productivity by 6%, to reduce the consumption of KCl from 218.0 kg to 40.0 kg per day, while reducing the formation of ballast (KF) by 1.8 times stabilizes the electrolyte level and the electrolysis process. This contributes to an increase in current efficiency, while increasing to 65%, and reducing the consumption of electricity and salts: when KI is introduced, the consumption of a mixture of K_2ZrF_6 and KCl salts decreases by 1.7 times, and the specific consumption of $NaOH$ alkali for gas purification from chlorine drops from 0, 7 t to 0.01 tons per 1 ton of Zr . The specific power consumption is reduced by 16 kWh/kg. It has been established that the replacement of K_2ZrF_6 with ZrF_4 and a decrease in electrolyte fluoride by 3–5% contributes to an increase in electrical conductivity and current efficiency up to 78%, which makes it possible to reduce the specific power consumption to 40 kWh per 1 kg of powder. The processing of products of anodic reactions is shown to allow obtaining fluoro-chloro-derivative hydrocarbons, in particular, freons F-11 - F-14. It has been established that the freon yield when using electrolyte K_2ZrF_6 - KCl - KF is 1.00, K_2ZrF_6 - KCl - KF - KI - 0.78 and ZrF_4 - KCl - KF - 1.50 kg/kg of zirconium powder.

Keywords: electrolysis of melts, production of zirconium, energy efficiency, freons.

Список використаної літератури

1. Захаров, Е.И., Абрамкин, В.Ф., Калинин, Л.М. и др. Применение пульсационной аппаратуры для гидрометаллургической обработки металлических порошков. В сб.: Пульсационная аппаратура в народном хозяйстве. Ч.3. Пульсационные реакторы различного назначения.-М.:Атомиздат, 1979, С.79-84
2. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Машины, аппараты, средства механизации и автоматизации производственных процессов/Под ред. С.М.Карпачевой. Вып.1 (41), М.:ЦНИИ атоминформ,1972. 118с.
3. Разработка и применение пульсационной аппаратуры. М.:Атомиздат, 1974. 256с
4. Баймаков, Ю.В, Ветлюков, М.М. Электролиз расплавленных солей. М.:Металлургия, 1966. 559 с.
5. Титов, В.Е., Мишура, А.М., Конячко, В.Г. Совместная электрохимическая конверсия фреонов C_2 с диоксидами серы и углерода с.224-226. Вопросы химии и хим. технологии, 2011. №4. С.224-226

Отримано в редакцію 14.06.2022

Прийнято до друку 24.09.2022

Received 14.06.2022

Approved 24.09.2022