

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ**



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання курсової роботи з дисципліни
«Теоретичні і технологічні особливості виробництва кольорових металів»
для студентів заочної форми навчання
за освітньо-професійною програмою
«Технології та обладнання виробництва металів і сплавів»
підготовки здобувачів вищої освіти
за першим (бакалаврським) рівнем
зі спеціальності 136 «Металургія»**

Дніпро НМетАУ 2016

Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Теоретичні і технологічні особливості виробництва кольорових металів» для студентів заочної форми навчання за освітньо-професійною програмою «Технології та обладнання виробництва металів і сплавів» підготовки здобувачів вищої освіти за першим (бакалаврським) рівнем зі спеціальності 136 «Металургія» / Укл.: Г.А. Поляков, С.М. Підгорний, Г.М. Трегубенко, В.С. Ігнат'єв, Ю.О. Бубликов – Дніпро: НМетАУ, 2016. – 23с.

Наведені методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Теоретичні і технологічні особливості виробництва кольорових металів».

Призначена для студентів заочної форми навчання за освітньо-професійною програмою «Технології та обладнання виробництва металів і сплавів» підготовки здобувачів вищої освіти за першим (бакалаврським) рівнем зі спеціальності 136 «Металургія».

Укладачі: Г.А. Поляков, ст. викладач
С.М. Підгорний, ст. викладач
Г.М. Трегубенко, д-р техн. наук, проф.
В.С. Ігнат'єв, канд. техн. наук, проф.
Ю.О. Бубликов, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний за випуск М.І. Гасик, д-р техн. наук, проф.

Рецензент Л.В. Камкіна, д-р техн. наук, проф. (НМетАУ)

Підписано до друку _____. Формат 60x84 1/16. Папір друк. Друк плоский.
Облік.-вид. арк. _____. Умов. друк. арк. _____. Тираж 100 пр. Замовлення № _____

Національна металургійна академія України
49600, м. Дніпро-5, пр. Гагаріна, 4

Редакційно-видавничий відділ НМетАУ

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ	4
1 Вимоги до виконання контрольної і розрахунково-графічної роботи	4
2 Приклад розрахунку електролізера для виробництва магнію	5
2.1 Початкові дані для розрахунку	5
2.2 Розрахунок матеріального балансу	6
2.3 Визначення основних розмірів електролізера	9
2.4 Розрахунок напруги	11
2.5 Енергетичний баланс електролізера	13
ЛІТЕРАТУРА	19
ДОДАТОК А	20
ДОДАТОК Б	23

ВСТУП

Металургія магнію – одна з тих галузей промисловості, яка ефективно працює і розвивається на даний час в Україні. Основними промисловими методами виробництва магнію, зважаючи на істотну їх активність, є способи високотемпературного електролізу.

У металургії вирішення значної частини питань здійснюють з використанням розрахункових методів, а, отже, інженер постійно має справу з різними технологічними розрахунками. За допомогою розрахунків на виробництві визначають вихід металу по струму, розміри ванни електролізера, напругу на клеммах електролізера, прихід і витрату тепла а також продуктивність одиничного агрегату.

Методичні вказівки для виконання курсової роботи призначені для розвитку у студентів практичних навичок самостійного і творчого виконання різних розрахункових завдань металургійного характеру.

У додатках приведені початкові дані до виконання багатоваріантних завдань.

1 ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

Під час вивчення дисципліни студенти виконують курсову розрахунково-графічну роботу *«Розрахунок електролізера для виробництва магнію»*.

Вихідні дані для виконання робіт вибирають відповідно за додатками А, Б. Інформацію про одиниці фізичних величин та їх обчислення подають у Міжнародній системі одиниць СІ (ГОСТ 8.417-81 «ГСИ. Единицы физических величин»).

Наприкінці розрахунково-графічних робіт студенти наводять перелік літератури, що використовують під час їх виконання.

Текст розрахунково-графічних робіт, подають на папері формату А4 (210×297 мм) з використанням однієї сторони аркуша. Повинно бути витримано такі розміри полів:

- ліве - 30 мм,

- верхнє та нижнє – 20 мм,
- праве - 15 мм.
- Обсяг роботи – до 25 аркушів.

Текст розрахунково-графічної роботи необхідно набирати на ПЕОМ у редакторі Microsoft Word шрифтом Times New Roman (розмір 14 пт) через півтора інтервали. Вписування до тексту окремих слів, умовних знаків, а також внесення виправлень, допускається тільки чорним чорнилом або пастою.

Всі розрахунки по роботам студенти повинні робити на комп'ютері у програмі Microsoft Excel.

За результатами розрахунків виконуються необхідні креслення з простановкою основних розмірів. Креслення (електролізер для виробництва магнію) виконуються у графічному редакторі CorelDRAW 11 (або більш нові версії), а потім вставляються в текст розрахунково-графічних робіт звичайним засобом. Формат креслень - А4. На рисунках повинні бути зображені (с основними розмірами)

- вид апарату спереду;
- вид шахти електролізера зверху;
- вид електродів з їх основними розмірами.

Нижче приведен приклад розрахунку діафрагмового електролізера з верхнім токопідводом для отримання магнію. Вихідні дані до розрахунку наведені у додатку А. Вид електролізера приведений на рисунку (додаток Б).

2 ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОЛІЗЕРА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА МАГНІЮ

2.1 Початкові дані для розрахунку

Початкові дані для розрахунку діафрагмового електролізера на 100 кА з верхнім введенням анодів для електролізу зневодненого карналіту (електроліт калієвий):

- | | |
|------------------------------------|--------------------------|
| 1) Сила струму електролізу, I | 100 кА; |
| 2) Щільність струму анодна, i_a | 0,41 А/см ² ; |
| 3) Щільність струму катодна, i_k | 0,5 А/см ² ; |

4) Щільність струму прохідна в аноді, i'_a	5,2 A/cm ² ;
5) Щільність струму прохідна в катоді, i'_k	25 A/cm ² ;
6) Відстань між електродами, L	7 см;
7) Ширина анода, B_a	≤ 220 см;
8) Вихід за струмом, B_T	80 %;
9) Вихід шламу на 1 т магнію-сирцю, $B_{ш}$	0,12 кг;
10) Вихід перегону на 1 т магнію-сирцю, $B_{п}$	0,1 кг;
11) Вихід від-ваного електроліту на 1т магнію-сирцю, B_{Be}	3,8 кг;
12) Температура завантажуваного карналіту, t_k	680 °C;
13) Температура робочого електроліту, t_e	700 °C;
14) Відсмоктування газу з катодних осередків (при н.у.)	1200 м ³ /г;
15) Падіння напруги в ошиновці і контактах, $V_{ощ}$	0,3 В;
16) Температура хлору, що виходить з електролізера, t_x	300 °C.

Склад завантажуваної в електролізер сировини і витягнутих з нього речовин приведений в табл. 2.1.

Таблиця 2.1- Хімічний склад зневодненого карналіту, відпрацьованого електроліту, шламу, перегону і магнію-сирцю

Речовина	Склад, % (мас.)				
	MgCl ₂	KCl	NaCl	MgO	Mg
Зневоднений карналіт	51,0	42,0	6,0	1,0	-
Відпрацьований карналіт	5,0	75,0	19,8	0,2	-
Шлам	8,0	54,0	15,0	20,0	3,0
Перегін	30,0	40,0	30,0	-	-
Магній-сирець	0,02	0,28	0,10	-	99,6

2.2 Розрахунок матеріального балансу

При електролізі виділяється магнію:

- продукційного (у складі магнію-сирцю) $100 \cdot 0,454 \cdot 0,8 = 36,32$ кг/год.;

- у складі шламу $36,32 \cdot 0,12 \cdot 0,03 = 0,13$ кг/год;

- всього $36,32 + 0,13 = 36,45$ кг/год.

Витягується з електролізера, кг/год:

- магнію-сирцю $35,45:0,996 = 36,6$;

- шламу $36,6 \cdot 0,12 = 4,39$;

- перегону $36,6 \cdot 0,10 = 3,66$;

- відпрацьованого електроліту $36,6 \cdot 3,8 = 139,08$;

- хлору $100 \cdot 1,323 \cdot 0,8 = 105,84$.

Годинна витрата безводного карналіту (рівна сумі витягуваних за 1 годину речовин) складає $36,5 + 4,39 + 3,66 + 139,08 + 105,84 = 289,42$ кг

Витрата безводного карналіту (51% $MgCl_2$) на 1кг магнію-сирцю $289,42:36,45 = 7,94$ кг

Результати розрахунку матеріального балансу зведені в табл.2.2.

Таблиця 2.2- Матеріальний баланс магнійового електролізера на 100 кА

Потрапляє в електролізер			Витягується з електролізера		
сировина	на 1000кг сировини, кг	кг/год.	Продукт	на 1000 кг сировини, кг	кг/год.
Зневоднений карналіт (51 % $MgCl_2$)	1000	289,42	Магній-сирець (99,6% Mg)	125,94	36,45
			Відпрацьований електроліт	480,55	139,08
			Шлам	15,17	4,39
			Перегін	12,65	3,66
			Хлор (100% Cl_2)	365,7	105,84
Разом	1000	289,42	Разом	1000	289,42

У приведеному розрахунку матеріального балансу електролізера враховані тільки основні процеси, що протікають у ньому. Слід мати до уваги, що разом з основними процесами, відбувається також ряд побічних. Наприклад, в карналітовому калієвому електроліті частково хлорується оксид магнію, що видно з приведенного нижче розрахунку (табл.2.1 і 2.2).

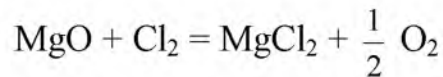
За 1 годину в електролізер поступає оксиду магнію у складі безводного карналіту

$$289,42 \cdot 0,01 = 2,89 \text{ кг.}$$

За цей же час з електролізеру витягується оксиду магнію (у складі відпрацьованого електроліту і шламу):

$$139,08 \cdot 0,002 + 4,39 \cdot 0,2 = 1,16 \text{ кг.}$$

Зменшення кількості оксиду магнію є результатом її часткового хлорування в електроліті, наприклад, по реакції



При хлоруванні витрачається деяка кількість хлору, що зменшує його вихід, і утворюється додаткова кількість хлориду магнію, використовуваного для електролізу.

Ступінь хлорування оксиду магнію в нашому випадку складає:

$$\frac{(2,89 - 1,16) \cdot 100}{2,89} = 59,86 \%$$

При хлоруванні оксиду магнію виходить хлориду магнію:

$$(2,89 - 1,16) \cdot 2,36 = 4,08 \text{ кг/рік}$$

де 2,36 – відношення молекулярних мас MgCl_2 і MgO .

Витрачається хлору:

$$\frac{4,08 \cdot 70,92}{95,21} = 3,04 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$$

де 70,92 і 95,21 – відповідно молекулярні маси хлору і хлориду магнію.

Кількості речовин, які витрачаються і утворюються в результаті хлорування оксиду магнію, а також унаслідок інших побічних процесів, незначні в порівнянні з масою основних продуктів реакції і тому в практичних

балансах зазвичай не враховуються.

2.3 Визначення основних розмірів електролізера

Число анодів.

Площа поперечного перетину всіх анодів рівна:

$$F = \frac{I}{i_a} = \frac{100000}{5,2} = 19231 \text{ см}^2 \quad (2.1)$$

Для виготовлення анодів застосовуємо графітові бруси поперечним перетином 20×30 см. Розрахункове число брусів у всіх анодах рівне:

$$m = \frac{19231}{20 \cdot 30} = 32$$

Щоб ширина анода була в межах заданих величин (не більше 220 см), приймаємо 5 анодів по 7 брусів в кожному. Тоді ширина анода:

$$B_a = 7 \cdot 30 = 210 \text{ см},$$

і фактична прохідна щільність струму в аноді:

$$i'_a = \frac{100000}{210 \cdot 20 \cdot 5} = 4,76 \frac{A}{\text{см}^2}$$

Приймаючи робочу висоту анода $H_a = 90$ см, визначимо величину робочої поверхні анода:

$$S_a = H_a B_a = 90 \cdot 210 = 18900 \text{ см}^2.$$

Величина робочої поверхні катода визначається співвідношенням анодної і катодної щільності струму:

$$\frac{S_k}{S_a} = \frac{i_a}{i_k}; \quad S_k = \frac{S_a \cdot i_a}{i_k} = \frac{18900 \cdot 0,41}{0,5} = 15500 \text{ см}^2$$

Приймаючи ширину катодного листа B_k рівній ширині анода, знаходимо висоту катодного листа:

$$H_k = \frac{15500}{210} = 74 \text{ см}$$

Число катодів рівне подвоєному числу анодів, тобто:

$$5 \cdot 2 = 10$$

Внутрішні розміри анодних осередків визначаються таким чином:

довжина

$$L = a + (2 \cdot 10) = 210 + (2 \cdot 10) = 230 \text{ см};$$

де a – ширина анода, см;

ширина

$$b + 2 \cdot c = 15 + 2 \cdot 9 = 33 \text{ см};$$

де b – товщина анода, см;

c – відстань від анода до діафрагми, рівна зазвичай у потужних електролізерах 9 см.

Катодний осередок на 100 мм ширше анодного. Глибина ванни визначається висотою робочої частини анода і відстанню від його нижньої кромки до подины.

Товщина футеровки і теплової ізоляції визначається умовами теплового балансу електролізера, зокрема температурою зовнішньої стінки кожуха, яка повинна бути не більше 60-70 °С. При цих умовах електроліт, що просочує футеровку, застигає в ній, не доходячи до внутрішньої стінки кожуха.

2.4 Розрахунок напруги

Баланс напруги електролізера визначається рівністю

$$U = V_a + V_k + V_z + V_{ох} + E \quad (2.2)$$

Величини V_a , V_k , V_e визначимо розрахунковим шляхом (рис.2.1). Перепад напруги в аноді

$$V_a = i'_a \cdot l_a \cdot \rho_{zp}, B \quad (2.3)$$

де i'_a — фактична прохідна щільність струму в аноді, $4,76 \text{ A/cm}^2$;

l_a — «шлях струму» в аноді, тобто відстань від центру контактної шини до середини робочої частини анода, прийняте з конструктивних міркувань рівним 140 см ;

ρ_{zp} — питомий опір штучного графіту, $11,5 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}\cdot\text{см}$.

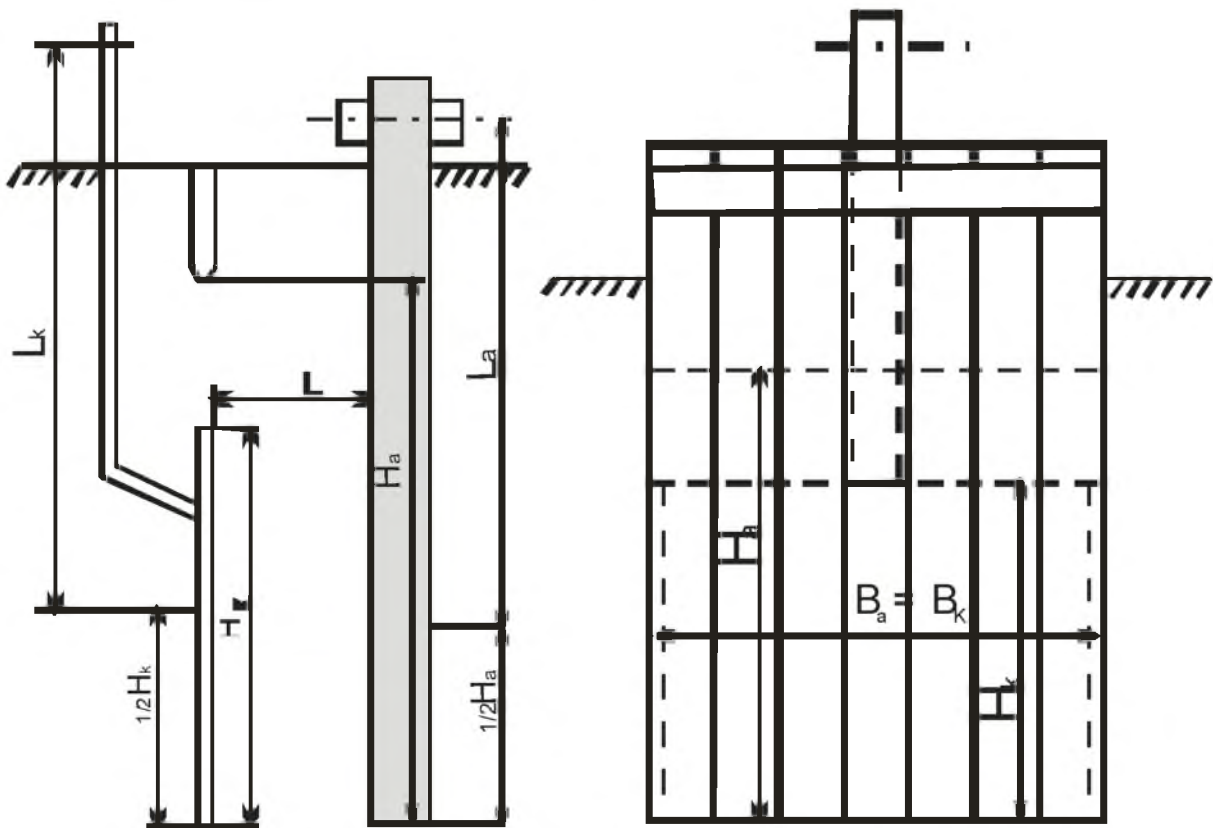


Рисунок 2.1 – Схема до розрахунку магнієвого електролізера

По формулі (2.3):

$$V_a = 4,76 \cdot 140 \cdot 11,5 \cdot 10^{-4} = 0,77 \text{ В}$$

Перепад напруги в катоді

$$V_k = i'_k \cdot l_k \cdot \rho_{cm}, \text{ В} \quad (2.4)$$

де i'_k — прохідна щільність струму в катоді, (25,0 А/см²);

l_k — шлях струму в катоді, 170 см;

ρ — питомий опір литої сталі при 500 °С, (0,6·10⁻⁴ Ом·см).

По формулі (2.4):

$$V_k = 25 \cdot 170 \cdot 0,6 \cdot 10^{-4} = 0,26 \text{ В}$$

Перепад напруги в електроліті обчислюваний за формулою (2.5):

$$V_{\text{Э}} = \frac{i_{cp} \cdot L}{K_k}, \text{ В}, \quad (2.5)$$

де $V_{\text{Э}}$ — перепад напруги в електроліті, В;

$i_{cp} = \sqrt{i_a i_k}$ — щільність струму в середньому перетині електроліту, А/см²;

L — відстань між електродами, см;

K — питома електропровідність електроліту, Ом⁻¹·см⁻¹;

k — коефіцієнт зменшення електропровідності електроліту внаслідок газонаповнення.

Підставив у формулу (2.5) значення $i_a = 0,41$; $i_k = 0,50$; $L = 7,0$; $K = 1,83$; $k = 0,93$, знаходимо:

$$V_{\text{Э}} = \frac{\sqrt{0,41 \cdot 0,5} \cdot 7}{1,83 \cdot 0,93} = 1,86 \text{ В}$$

Падіння напруги в ошиновці і контактах V_{om} приймаємо згідно з

практичними даними, 0,3 В, Напруга розкладання $E = 2,8$ В.

Напруга на затисках електролізера

$$U = 0,77 + 0,26 + 1,86 + 0,3 + 2,8 = 5,99 \text{ В}$$

2.5 Енергетичний баланс електролізера

Баланс складаємо приймаючи температуру електролізу ($700 \text{ }^\circ\text{C}$) за рівнянням:

$$860 \cdot I \cdot V_{a.k.} = Q_p + Q_H + Q_{II} + Q_{IIp} + Q_{k.o.} + Q_{T.II}$$

де I – сила струму, що проходить через електролізер, кА;

$V_{a.k.}$ – перепад напруги між електродами, В;

Q_p , Q_H , Q_{II} , Q_{IIp} , $Q_{k.o.}$, $Q_{T.II}$ – відповідно витрата енергії на розкладання хлориду магнію, нагрівання завантажених речовин, випаровування електроліту і розкладання домішок, ккал/год.

Прибуткова частина балансу

Прихід енергії (електричної) рівний, ккал/год.:

$$N = I \cdot V_{a.k.} \cdot 860 \tag{2.6}$$

Підставляючи у вираз (2.6) значення величин:

$$I = 100 \text{ кА}; V_{a.k.} = U - V_{\text{отт}} = 5,99 - 0,3 = 5,69 \text{ В}$$

знаходимо

$$N = 100 \cdot 5,69 \cdot 860 = 489340 \text{ ккал/год.}$$

Витратна частина балансу

Витрата енергії на розкладання хлориду магнію (компенсація зміни

внутрішній енергії системи унаслідок розкладання хлориду магнію на магній і хлор).

Витрата на розкладання $MgCl_2$:

$$q_1 = a_{Mg} H_{700} \quad (2.7)$$

де a_{Mg} - кількість отриманого у складі магнію-сирцю і шламу металевого магнію, кг/год.;

H_{700} - питома теплота утворення $MgCl_2$ при $700\text{ }^\circ\text{C}$, віднесена до 1 кг магнію, ккал/кг.

Витрата на розкладання $KCl-MgCl_2$:

$$q_2 = a_{Mg} H_{700}' \quad (2.8)$$

де H_{700}' - питома теплота утворення $KCl-MgCl_2$ з KCl і $MgCl_2$ при $700\text{ }^\circ\text{C}$, ккал/кг.

Хлор виділяється при $700\text{ }^\circ\text{C}$, а виходить безперервно з електролізера з меншою температурою, наприклад $300\text{ }^\circ\text{C}$. Отже, частина внутрішньої енергії, якою володів хлор у момент виділення, залишається в системі. Тому з величини обчисленої витрати енергії на розкладання $MgCl_2$ і $KCl-MgCl_2$ треба відняти величину q_3 - різниця тепловміщень хлору при $700\dots300\text{ }^\circ\text{C}$:

$$q_3 = a_x \cdot c_x \cdot (t_e - t_x) \quad (2.9)$$

де a_x - кількість хлору, кг/год.;

c_x - теплоємність хлору, ккал/(кг·град.);

t_e, t_x - відповідно температури хлору у момент виділення і на виході $^\circ\text{C}$.

Тоді витрата енергії по першій статті витратної частини балансу виразиться формулою (2.10):

$$Q_p = a_{Mg}(q_1 + q_2) - a_x c_x (t_e - t_x) \quad (2.10)$$

$H_{700} = 5866$ ккал/кг, $H_{700}' = 131$ ккал/кг.

Середня питома теплоємність хлору (у інтервалі $0\dots800\text{ }^\circ\text{C}$) складає

0,1276 ккал/(кг·град), $t_e = 700\text{ }^\circ\text{C}$, $t_x = 300\text{ }^\circ\text{C}$. Згідно матеріальному розрахунку

$$a_{\text{Mg}} = 36,43\text{ кг/год.}, a_x = 105,84\text{ кг/год.}$$

Тоді по формулі (2.9):

$$Q_p = 36,43 \cdot (5866 + 131) - 105,84 \cdot 0,1276 (700 - 300) = 213189\text{ ккал/год.}$$

Витрата енергії на нагрівання завантаженого безводного карналіту

$$Q_H = a_K \cdot c_K \cdot (t_e - t_K) \quad (2.11)$$

де a_K – кількість завантаженого безводного карналіту, кг/год.;

c_K – середня питома теплоємність рідкого безводного карналіту, ккал/(кг·град.);

t_e, t_K – відповідно температури електроліту і безводного карналіту, $^\circ\text{C}$.

Середня питома теплоємність рідкого безводного карналіту (у інтервалі 500...750 $^\circ\text{C}$) складає 0,266 ккал/(кг·град). $t_e = 700\text{ }^\circ\text{C}$; $t_K = 680\text{ }^\circ\text{C}$. Згідно матеріальному балансу, $a_K = 289,42\text{ кг/год.}$ Тоді по формулі (2.10):

$$Q_H = 289,42 \cdot 0,266 (700 - 680) = 1540\text{ ккал/год.}$$

Витрата енергії на випаровування електроліту

$$Q_u = \sum b q_u \quad (2.12)$$

де b – кількість солі в перегоні, кг/год.;

q_u - теплота випаровування солі, ккал/кг.

Згідно матеріальному балансу, за 1 ч виходить 3,66 кг перегону, зокрема 1,1кг MgCl_2 , 1,46кг KCl і 1,1кг NaCl . Теплоти випаровування MgCl_2 , KCl і NaCl відповідно рівні 344, 530 і 702 ккал/кг. Тоді

$$Q_u = 1,1 \cdot 344 + 1,46 \cdot 530 + 1,1 \cdot 702 = 1924\text{ ккал/год}$$

Витрата енергії на розкладання домішок.

Згідно з практичними даними, витрата енергії по цій статті складає в середньому 14,5 ккал на 1 кг безводного карналіту. Тоді по формулі (2.11):

$$Q_{\text{пр}} = 289,42 \cdot 14,5 = 4197 \text{ ккал/год}$$

Втрати тепла з повітрям, що відсисається з катодного простору (катодне відсмоктування)

$$Q_{\text{к.о.}} = a_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{г}} - t_{\text{в}}) \quad (2.13)$$

де $a_{\text{в}}$ – кількість повітря, що відсмоктується з катодного простору, м³/ч;

$c_{\text{в}}$ – теплоємність повітря, ккал/(м³·град);

$t_{\text{в}}$, $t_{\text{г}}$ – відповідно температури повітря на вході в електролізер і на виході з нього °С.

Приймаємо, що температура навколишнього повітря 20° С і температура повітря на виході з катодного простору 270° С. Теплоємність повітря (у інтервалі 0...400° С) дорівнює 0,24 ккал/(кг·град) або 0,31 ккал/(м³·град).

Тоді по формулі (2.13):

$$Q_{\text{к.о.}} = 1200 \cdot 0,31 (270 - 20) = 93000 \text{ ккал/ч}$$

Втрати тепла з поверхонь електролізера

Втрати тепла з поверхонь електролізера унаслідок теплопровідності, а також конвекцією і випромінюванням можна обчислити, користуючись відомими формулами теплопередачі або практичними коефіцієнтами тепловіддачі з відповідних поверхонь електролізера, якщо відомі матеріал, розміри і температура тепловіддаючих поверхонь. Тут ми визначимо величину теплових втрат по різниці

$$Q_{\text{т.п.}} = N - \Sigma Q = 489340 - (213189 + 1540 + 1924 + 4197 + 93000) = 175490 \text{ ккал/ч}$$

Таблиця 2.3 – Енергетичний баланс магнієвого електролізера на 100 кА

Приход енергії	Кількість			Витрати енергії	Кількість		
	кВт·год/год	кал/год	%		кВт·год/год	ккал/год (кДЖ)	%
Електрич на енергія	569	489340	100	На розкладання хлориду магнію і комплексів	247,9	213189	43,57
				На нагрів безводного карналіту	1,8	1540	0,31
				На випаровування електроліту	2,2	1924	0,39
				На розкладання домішок	4,9	4191	0,86
				Теплові втрати: з газами катодного відсмоктування	108,1	93000	19,01
				з поверхні електролізера	204,1	175490	35,86
Разом	568	489340	100	Разом	568	489340	100

За даними табл. 2.3 видно, що витрата енергії на розкладання хлориду магнію і його комплексного з'єднання з хлоридом калія складає 43,57 %, теплові втрати.

$19,01 + 35,86 = 54,87$ % і інші статті витрати близько 2 % від всієї підведеної до електролізеру енергії.

Вихід по енергії складає: без урахування втрати енергії в ошиновці

$$B_{en} = \frac{3,1}{5,69} \cdot 0,8 \cdot 100 = 43,59 \%,$$

з урахуванням втрати енергії в ошиновці

$$B'_{en} = \frac{3,1}{5,99} \cdot 0,8 \cdot 100 = 41,4 \%.$$

Питома витрата електричної енергії на затисках електролізера рівна

$$W_y = \frac{5,99}{0,454 \cdot 0,8} = 16,49 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{кг}.$$

Вихід магнію (100 % Mg) на витрачену 1 кВт год електроенергії

$$A_{Mg} = \frac{1000}{16,49} \cdot 0,996 = 60,89 \text{ г}.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Ветюков М.М., Цыплаков А.М., Школьников С.Н. Электрометаллургия алюминия и магния - М.: Metallurgy, 1987.-320 с.
2. Баймаков Ю.В., Ветюков М.М. Электролиз расплавленных солей – М.: Metallurgy, 1966. – 560 с.
3. Эйдензон М.А. Metallurgy магния и других легких металлов. М.: Metallurgy, 1974. – 200 с.
4. Криворученко В.В., Коробов М.А. Тепловые и энергетические балансы электролизеров. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1963. – 320 с.
5. Делимарский Ю.К. Теоретические основы электролиза ионных расплавов. - М.: Metallurgy, 1986.-223 с.
6. Уткин Н.И. Metallurgy цветных металлов – М.: 1985. – 440 с.

№ варіанту	Сила струму електролізу I, кА	Щільність струму анодна i_a , А/см ²	Щільність струму катодна i_k , А/см ²	Щільність струму прохідна в аноді i'_a , А/см ²	Щільність струму прохідна в катоді i'_k , А/см ²	Відстань між електродами L, мм	Ширина анода B_a , см	Вихід за струмом B_r , %	Вихід шламу на 1 кг Mg-сирцю $B_{ш}$, кг	Вихід перегону на 1 кг Mg-сирцю B_p , кг	Вихід відпрацьованого електроліту на 1 кг Mg-сирцю $B_{ве}$, кг	Температура завантаженого зневодненого карналіту t_k , °С	Температура робочого електроліту t_e , °С	Відсмоктування газу з катодних осередків при н.у., м ³ /ч	Падіння напруги в ошиновці і контактах $V_{ош}$, В	Температура хлору, що виходить з електролізера t_x , °С
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	101,0	0,370	0,470	5,200	24,000	65	≤ 220	77,4	0,110	0,071	3,500	679	680	1100	0,300	290
2	101,5	0,375	0,472	5,202	24,002	66	≤ 220	77,5	0,111	0,072	3,502	680	681	1102	0,301	291
3	102,0	0,380	0,474	5,204	24,004	67	≤ 220	77,6	0,112	0,073	3,504	681	682	1104	0,302	292
4	102,5	0,385	0,476	5,206	24,006	68	≤ 220	77,7	0,113	0,074	3,506	682	683	1106	0,303	293
5	103,0	0,390	0,478	5,208	24,008	69	≤ 220	77,8	0,114	0,075	3,508	683	684	1108	0,304	294
6	103,5	0,395	0,480	5,210	24,100	70	≤ 220	77,9	0,115	0,076	3,510	682	685	1110	0,305	295
7	104,0	0,400	0,482	5,212	24,102	71	≤ 220	78,0	0,116	0,077	3,512	681	686	1112	0,306	296
8	104,5	0,405	0,484	5,214	24,104	72	≤ 220	78,1	0,117	0,078	3,514	680	687	1114	0,307	297
9	105,0	0,410	0,486	5,216	24,106	73	≤ 220	78,2	0,118	0,079	3,516	679	688	1116	0,308	298
10	105,5	0,415	0,488	5,218	24,108	74	≤ 220	78,3	0,119	0,080	3,518	680	689	1118	0,309	299
11	106,0	0,420	0,490	5,220	24,110	75	≤ 220	78,4	0,120	0,081	3,520	681	690	1120	0,310	300
12	106,5	0,425	0,492	5,222	24,112	76	≤ 220	78,5	0,121	0,082	3,522	682	691	1122	0,311	301

13	107,0	0,430	0,494	5,224	24,114	77	≤ 220	78,6	0,122	0,083	3,524	683	692	1124	0,312	302
14	107,5	0,435	0,496	5,226	24,116	78	≤ 220	78,7	0,123	0,084	3,526	682	693	1126	0,314	303
15	108,0	0,440	0,498	5,228	24,118	79	≤ 220	78,8	0,124	0,085	3,528	681	694	1128	0,316	304
16	108,5	0,445	0,500	5,230	24,120	80	≤ 220	78,9	0,125	0,086	3,530	680	695	1130	0,318	305
17	109,0	0,450	0,502	5,232	24,122	81	≤ 220	79,0	0,126	0,087	3,532	679	696	1132	0,320	290
18	109,5	0,370	0,504	5,234	24,124	65	≤ 220	79,1	0,127	0,088	3,534	680	697	1134	0,322	291
19	110,0	0,375	0,506	5,236	24,126	66	≤ 220	79,2	0,128	0,089	3,536	681	698	1136	0,324	292
20	110,5	0,380	0,508	5,238	24,128	67	≤ 220	79,3	0,129	0,090	3,538	682	699	1138	0,326	293
21	111,0	0,385	0,510	5,240	24,130	68	≤ 220	79,4	0,130	0,091	3,540	683	700	1140	0,328	294
22	111,5	0,390	0,512	5,242	24,132	69	≤ 220	79,5	0,131	0,092	3,542	682	701	1142	0,330	295
23	112,0	0,395	0,512	5,244	24,134	70	≤ 220	79,6	0,132	0,093	3,544	681	702	1144	0,332	296
24	112,5	0,400	0,514	5,246	24,136	71	≤ 220	79,7	0,133	0,094	3,546	680	703	1146	0,334	297
25	113,0	0,405	0,516	5,248	24,138	72	≤ 220	79,8	0,134	0,095	3,548	679	704	1148	0,336	298
26	113,5	0,410	0,518	5,250	24,140	73	≤ 220	79,9	0,135	0,096	3,550	680	705	1150	0,338	299
27	114,0	0,415	0,520	5,238	24,142	74	≤ 220	80,0	0,136	0,097	3,552	681	706	1152	0,340	300
28	114,5	0,420	0,522	5,236	24,144	75	≤ 220	80,1	0,137	0,098	3,554	682	707	1154	0,342	301
29	115,0	0,425	0,524	5,234	24,146	76	≤ 220	80,2	0,138	0,099	3,556	683	708	1156	0,344	302
30	115,5	0,430	0,526	5,232	24,148	77	≤ 220	80,3	0,139	0,100	3,558	682	709	1158	0,346	303
31	116,0	0,435	0,528	5,230	24,150	78	≤ 220	80,4	0,140	0,101	3,560	681	710	1160	0,348	304
32	116,5	0,440	0,529	5,228	24,152	79	≤ 220	80,5	0,110	0,102	3,562	680	680	1162	0,350	305
33	117,0	0,445	0,530	5,226	24,154	80	≤ 220	80,6	0,111	0,103	3,564	679	681	1164	0,300	290
34	117,5	0,450	0,531	5,224	24,156	81	≤ 220	80,7	0,112	0,104	3,566	680	682	1166	0,301	291
35	118,0	0,380	0,532	5,222	24,158	65	≤ 220	80,8	0,113	0,071	3,568	681	683	1168	0,302	292
36	118,5	0,385	0,533	5,220	24,160	66	≤ 220	80,9	0,114	0,072	3,570	682	684	1170	0,303	293

37	119,0	0,390	0,534	5,218	24,162	67	≤ 220	81,0	0,115	0,073	3,572	683	685	1172	0,304	294
38	119,5	0,395	0,535	5,216	24,164	68	≤ 220	77,4	0,116	0,074	3,574	679	686	1174	0,305	295
39	120,0	0,400	0,536	5,214	24,166	69	≤ 220	77,5	0,117	0,075	3,576	680	687	1176	0,306	296
40	120,5	0,405	0,537	5,212	24,168	70	≤ 220	77,6	0,118	0,076	3,578	681	688	1178	0,307	297
41	121,0	0,410	0,538	5,210	24,170	71	≤ 220	77,7	0,119	0,077	3,580	682	689	1180	0,308	298
42	121,5	0,415	0,539	5,208	24,172	72	≤ 220	77,8	0,120	0,078	3,582	683	690	1182	0,309	299
43	122,0	0,420	0,540	5,206	24,174	73	≤ 220	77,9	0,121	0,079	3,584	679	691	1184	0,310	300
44	122,5	0,425	0,480	5,204	24,176	74	≤ 220	78,0	0,122	0,080	3,586	680	692	1186	0,311	301
45	123,0	0,430	0,481	5,202	24,178	75	≤ 220	78,1	0,123	0,081	3,588	681	693	1188	0,312	302
46	123,5	0,435	0,482	5,200	24,180	76	≤ 220	78,2	0,124	0,082	3,590	682	694	1190	0,313	303
47	124,0	0,440	0,483	5,202	24,182	77	≤ 220	78,3	0,125	0,083	3,592	683	695	1192	0,314	304
48	124,5	0,445	0,484	5,204	24,184	78	≤ 220	78,4	0,126	0,084	3,593	679	696	1193	0,316	305
49	125,0	0,450	0,485	5,206	24,186	79	≤ 220	78,5	0,127	0,085	3,594	680	697	1194	0,318	290
50	125,5	0,410	0,486	5,208	24,188	80	≤ 220	78,6	0,128	0,086	3,595	681	698	1195	0,320	291

Електролізер для виробництва магнію

