

# ЕЛЕКТРОЛІЗЕРИ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ ТА РАФІНУВАННЯ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

Для електролітичного виробництва кольорових металів або сплавів використовують *електролізні ванни* або *електролізери*.

## 1 ЕЛЕКТРОЛІЗЕРИ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ АЛЮМІНІЮ

### 1.1 Типи електролізерів для одержання алюмінію

Вугільний струмопровідний черинь алюмінієвого електролізера (рис. 2.20) працює як катод, а занурені в розплав електроди як анод. У плані електролізна ванна має прямокутну форму. Кожух роблять зі сталевих листів, які футерують шаром шамоту, а саму ванну викладають вугільними плитами і блоками.

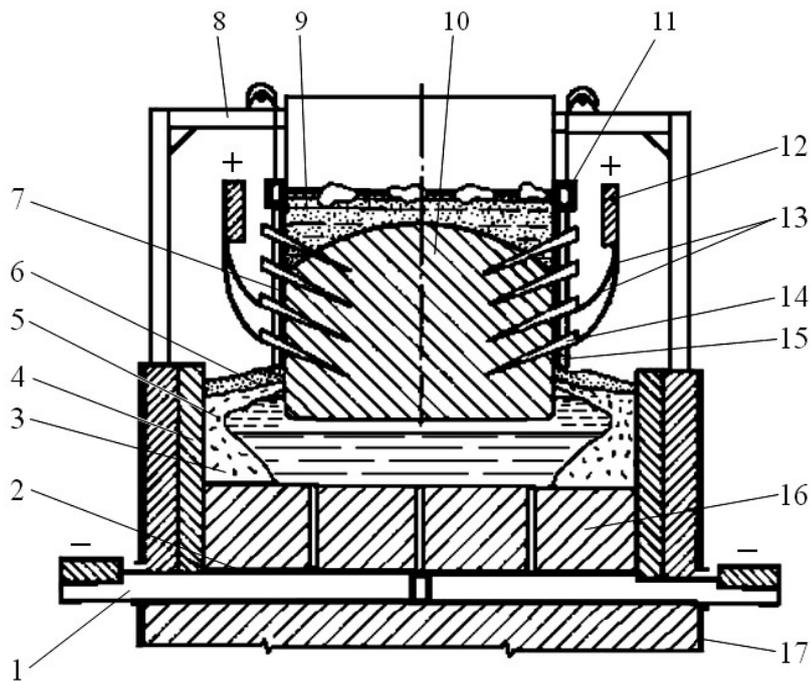
Алюмінієві електролізери класифікують за потужністю та конструкцією.

Потужність електролізерів (струмове навантаження) може бути малою (80–100 кА), середньою (150–175 кА) та великою (255–500 кА).

За конструкцією анода та анодного струмопідведення алюмінієві електролізери поділяють на три типи (рис. 1):

- а) електролізери з самоспівним анодом та бічним струмопідведенням;
- б) електролізери з самоспівним анодом та верхнім струмопідведенням;
- в) електролізери з попередньо випаленими анодами.

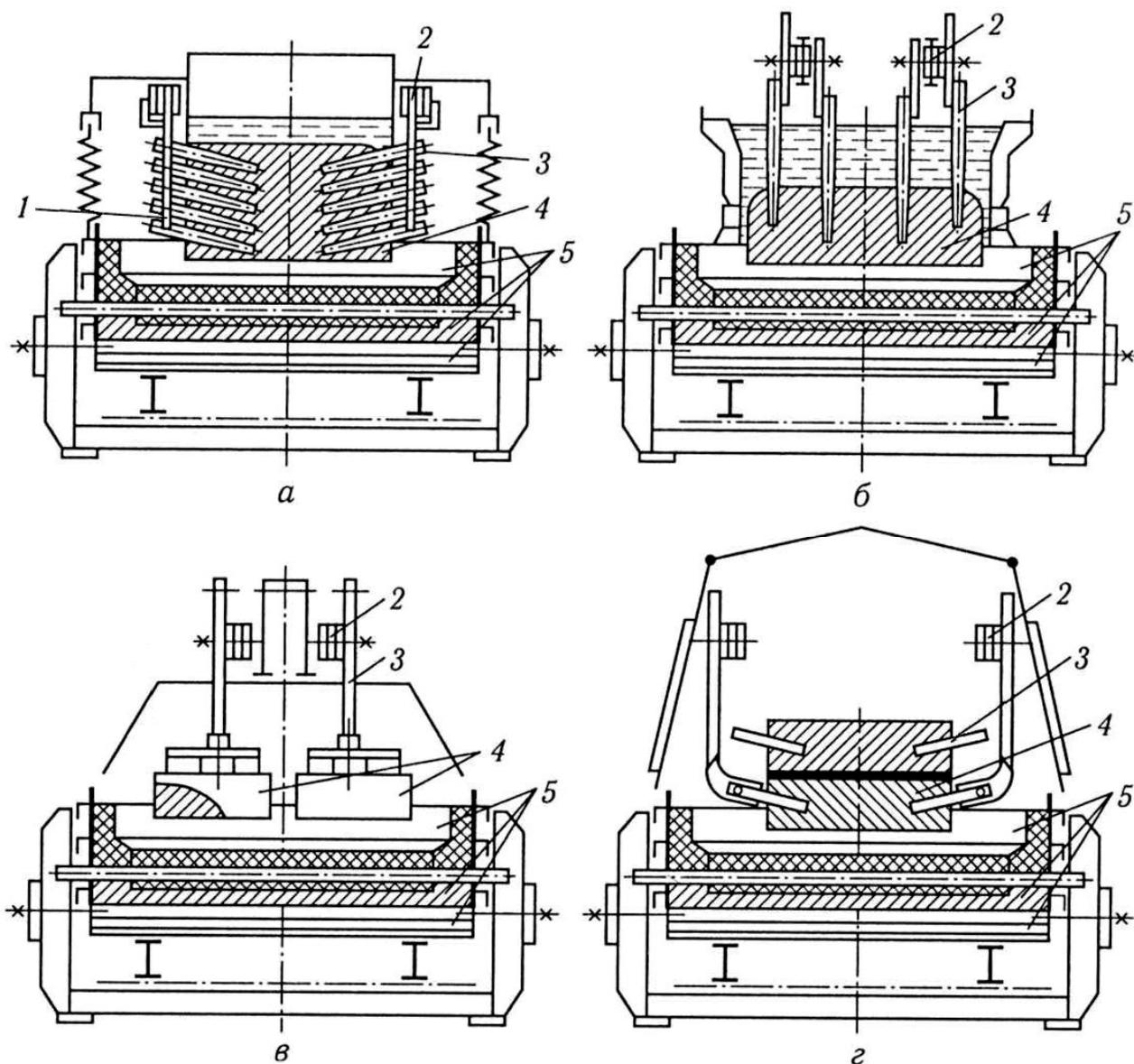
Алюмінієвий електролізер будь-якої конструкції і потужності складається з катодного пристрою, анодної системи, катодної і анодної ошиновок, опорних металоконструкцій. Електролізери також обладнано спеціальними пристроями для вловлювання та відведення газів, що утворюються під час електролізу.



1 – стрижень для підведення струму; 2 – чавунне залиття;  
 3 – охолодь; 4 – вугільна футеровка; 5 – бічний гарнісаж;  
 6 – корка електроліту; 7 – кожух анода; 8 – каркас; 9 – рідка  
 анодна маса; 10 – анод; 11 – анодна рама; 12 – анодна шина;  
 13 – анодний спуск; 14 – штир для підведення струму; 15 – упорна  
 серга; 16 – вугільний катодний блок; 17 – катодний кожух

Рисунок 1 – Схема електролізної ванни для одержання алюмінію з самоспівним анодом та бічним струмопідведенням

В електролізерах з самоспівним анодом і бічним струмопідведенням (рис. 2, а) основою анода є прямокутний кожух, зварений зі сталевого листа. Безперервне нарощування анода відбувається завдяки постійному завантаженню зверху брикетів анодної маси (нафтовий кокс з кам'яновугільним пеком). Під час роботи, внаслідок згоряння нижньої частини, анод спеціальним пристроєм опускають, забезпечуючи його ковзання всередині кожуха. Завантажена електродна маса у верхній частині кожуха розм'якшується, плавиться, і, просуваючись униз, все більше нагрівається. В зоні високих температур видаляються леткі речовини, маса коксується, спікається і перетворюється на повністю монолітний блок. Підведення струму до самоспів-



*a* – самоспільний анод з бічним струмопідведенням;

*б* – самоспільний анод з верхнім струмопідведенням;

*в* – анод із попередньо випалених блоків (багатоанодний);

*г* – з анодом із попередньо випалених блоків (блочний);

1 – серга упорна; 2 – анодні шини; 3 – штирі для підведення струму (анодотримач); 4 – анод; 5 – катодний пристрій

Рисунок 2 – Електролізери з різними анодами і типами струмопідведення

ливих анодів здійснюється сталевими штирями.

В електролізерах з самоспівним анодом і верхнім струмопідведенням (рис. 2 б) штирі допомагають також закріплювати анод над ванною. Поступово найбільш заглиблені штирі висмикують із затверділої маси і закріплюють їх вище. Через деякий час вони спікаються разом із твердіючою анодною масою. За бічного струмопідведення штирі занурюють у неспечену масу крізь кожух. У процесі роботи у міру згорання анода нижні штирі витягають і переставляють у верхній ряд. В обох випадках сталеві штирі з'єднані з основною струмопідвідною шиною. Вертикальне струмопідведення є досконалішим, оскільки дає змогу збільшити потужність електролізерів, значно спрощує їх обслуговування та підвищує продуктивність праці.

Використання електролізерів зі самоспівними анодами дає змогу здешевити процес отримання алюмінію завдяки виключенню з технології високовартісного і тривалого процесу – пресування й випалювання анодів.

Однак це виробництво має істотні недоліки:

а) неоднорідність вихідного матеріалу та знижена щільність унаслідок самовипалювання зумовлюють підвищений електроопір анода і, як наслідок, високі витрати електроенергії;

б) технологія виробництва анодів не забезпечує однорідність розподілу струму по всій робочій поверхні електрода;

в) гази (продукти випалення та коксування анодної маси) значно забруднюють атмосферу цеху.

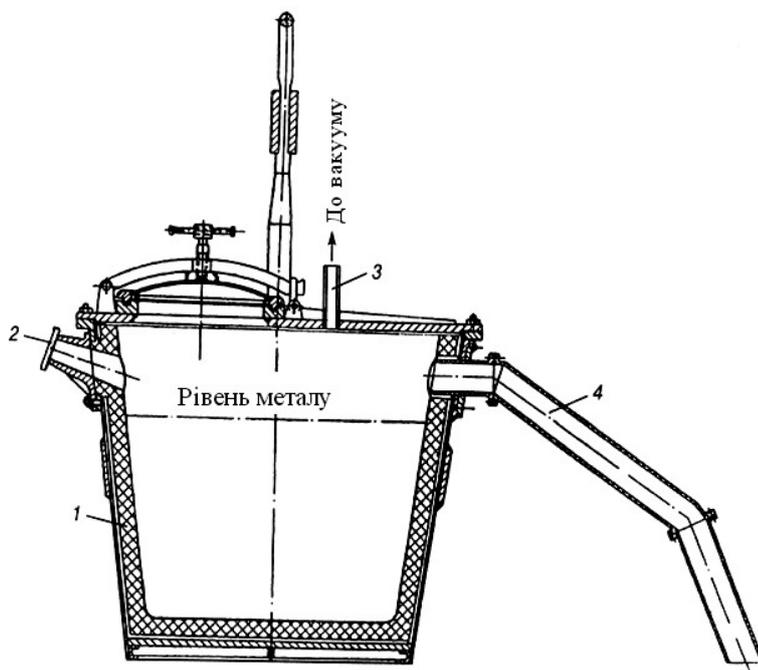
Електролізні ванни із заздалегідь випаленими анодами цих недоліків не мають (рис. 2, в). Анодний вузол складається з вугільних або графітованих блоків (до 20 і більше), розміщених у два ряди. Блоки, що згоріли, замінюють на нові. Ванни мають систему газозловлювання.

До перспективних напрямів в алюмінієвій промисловості належить застосування електролізерів із безперервно випаленими анодами (рис. 2.21, г). У ваннах встановлюють аноди із кількох випалених блоків, розміщених один

над одним і склеєних між собою спеціальною вуглецевою масою. У міру витрачання анод нарощують зверху черговим блоком.

Обслуговування електролізерів складається з таких операцій: подавання у ванну глинозему; контролю і коригування складу електроліту; регулювання відстані між анодом і катодом; вилучення алюмінію; обслуговування анодів.

У сучасних електролізерах за добу виробляють 500–1200 кг алюмінію. Його видалення з ванни порушує нормальний перебіг процесу, і тому намагаються максимально збільшити проміжок часу між випусками. Зазвичай алюміній видаляють раз на добу або через 2–5 діб за допомогою спеціальних вакуум-ковшів (рис. 3) місткістю 1,5–5,0 т алюмінію. Ковші футеровані шамотом, робоче розрідження становить 70 кПа, забірний патрубок крізь шар електроліту занурюють у рідкий алюміній і внаслідок вакууму він засмоктується у ківш.



- 1 – футеровка;
- 2 – оглядове вікно;
- 3 – патрубок для приєднання до вакуумного насоса;
- 4 – патрубок для збирання металу

Рисунок 3 – Вакуум-ківш для вилучення алюмінію

## 1.2 Конструктивні елементи електролізера

*Катодний пристрій.* Конструктивна основа катодного пристрою – сталевий кожух. За ступенем теплового захисту череня розрізняють електролізери без днища та електролізери з днищем.

Катодні пристрої з кожухами без днища конструюють для електролізерів малої потужності. Вони встановлюються на цегляний цоколь, викладений на бетонному фундаменті. Цоколь є масивною кладкою, що складається з 4–5 рядів червоної і 2–3 рядів шамотної цегли. Кожух кріплять до фундаменту за допомогою анкерних лап, верхні кінці яких приварюють до кожуха, а нижні заливають в фундамент бетоном. На поверхню шамотної кладки наносять шар череневої вуглецевої маси, на яку укладають у перев'язку череневі вугільні блоки. У нижню частину черневих блоків перед їх розміщенням заливають чавуном сталеві катодні стрижні – блямси, вільні кінці яких виходять назовні і підводять струм до череня.

Бічні стінки катодного кожуха футерують 1–2 рядами вугільних плит. Простір між плитами і кожухом (40–50 мм) заповнюють засипкою з шамотної крупки або глинозему. Розміри вугільних блоків і плит: череневі блоки мають перетин 400x500 мм і довжину 600 мм, 800 мм, 1200 мм або 1600 мм, в деяких випадках – до 2500 мм; бічні плити – товщину 200 мм, висоту 600–800 мм і довжину 550 мм.

Череневі блоки встановлюють на відстані 25–50 мм один від одного. У простір між блоками набивають череневу вуглецеву масу, яка при випаленні череня коксується, і шви, що утворюються, міцно пов'язують блоки.

Розміри шахти електролізера залежать від потужності електролізера. Глибина шахти зазвичай становить 400–600 мм, відстань від анода до стінок шахти по подовжній стороні – близько 440–650 мм, по торцевій стороні – близько 500–600 мм.

Кожух без днища зазвичай виконують у вигляді рами, звареної із сталевих балок і листів (рис. 4).

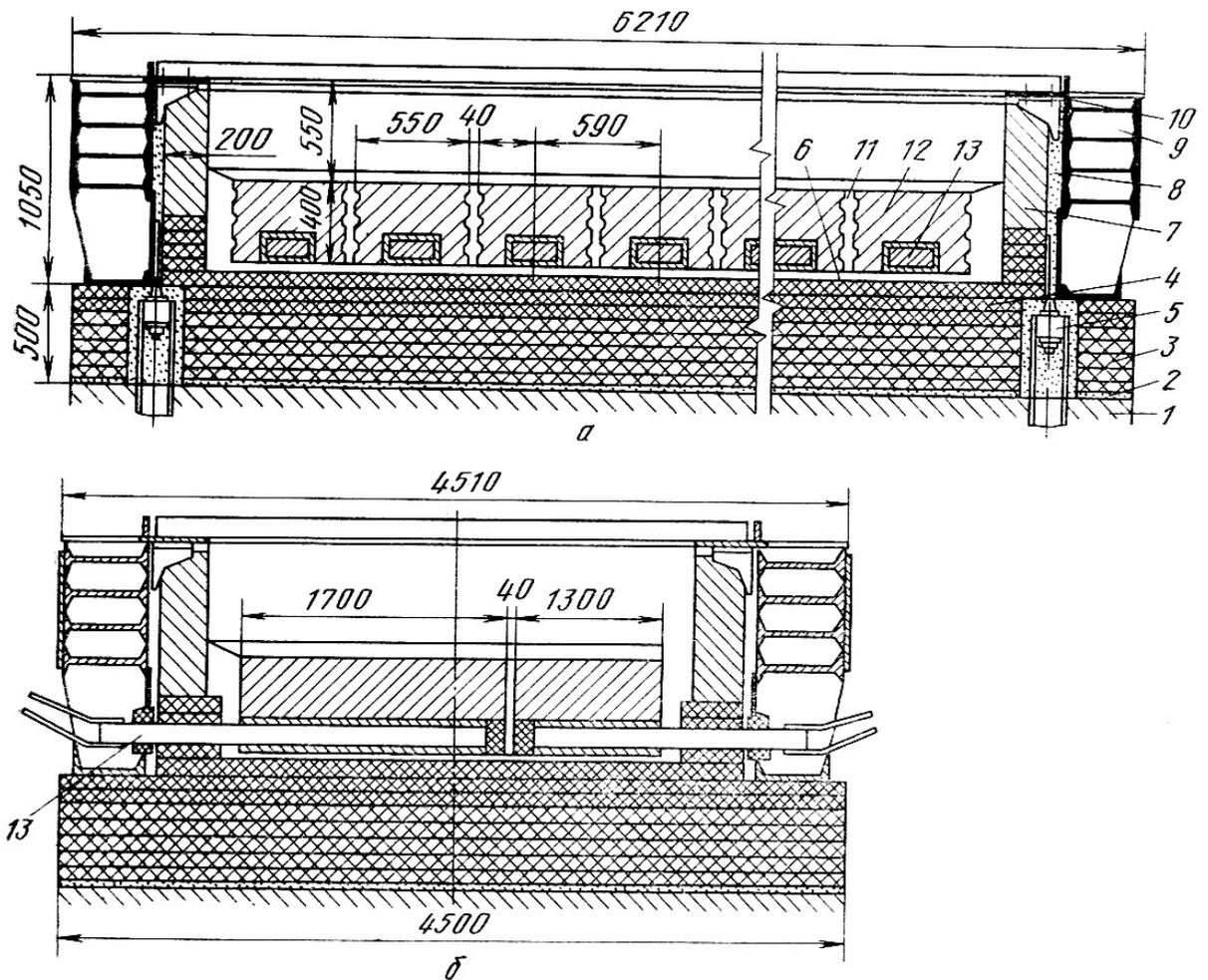
Для електролізерів середньої і великої потужності застосовують кожухи з днищем (рис. 5) – зварене з листової сталі (товщиною 10 мм) корито, укріплене вздовж поздовжньої сторони балками (контрфорсами). Контрфорси є вертикальними стійками, стягнутими поперек електролізера на рівні днища сталевими тягами попарно. Верхні кінці контрфорсів утримують кожух електролізера від распираючих зусиль у черені, а нижні кінці контрфорсів спираються попарно на залізобетонні розпірні балки. Міцність катодного кожуха визначається жорсткістю контрфорсів.

На катодний кожух електролізерів чотирма колонами спирається несуча конструкція – каркас електролізера. На каркасі кріплять анодний пристрій, укриття електролізера, глиноземні бункери і механізми для переміщення анода і панелей укриття.

*Анодний пристрій* електролізера з самоспівним анодом складається з анодної кожуха, анодної рами, штирів і власне анода. Анод (рис. 2.21, а, б) знаходиться всередині жорсткого анодного кожуха прямокутної форми, звареного з листової сталі і укладеного для жорсткості в швелерную раму. Між анодом і кожухом прокладають алюмінієвий лист товщиною 1,0–1,5 мм (обичайку), щоб вуглецева маса при коксуванні не чіплялася до сталевого кожуха. Обичайка захищає нижню частину вугільного анода від окислення, а у верхній частині не дозволяє рідкій анодній масі витікати через вікна. Обичайка опускається і витрачається разом з анодом. Тому її нарощують зверху, коли кромка алюмінієвого листа виявиться на висоті 250–300 мм від рівня рідкої анодної маси.

Підвіс анода і підведення струму до нього здійснюються штирями, виконаними у вигляді конічних сталевих стрижнів довжиною 800–1000 мм. В електролізерах з бічним підведенням струму штири забивають у тіло анода в шаховому порядку в 4–5 горизонтальних рядів, і вони мають нахил до

горизонту приблизно 15 градусів. Два нижніх ряди штирів підключено до струму. Струм до них підводиться з допомогою анодних спусків – мідних смуг, верхні кінці яких приварені до анодних шин, а нижні за допомогою клинових з'єднань притиснуті до штирів.



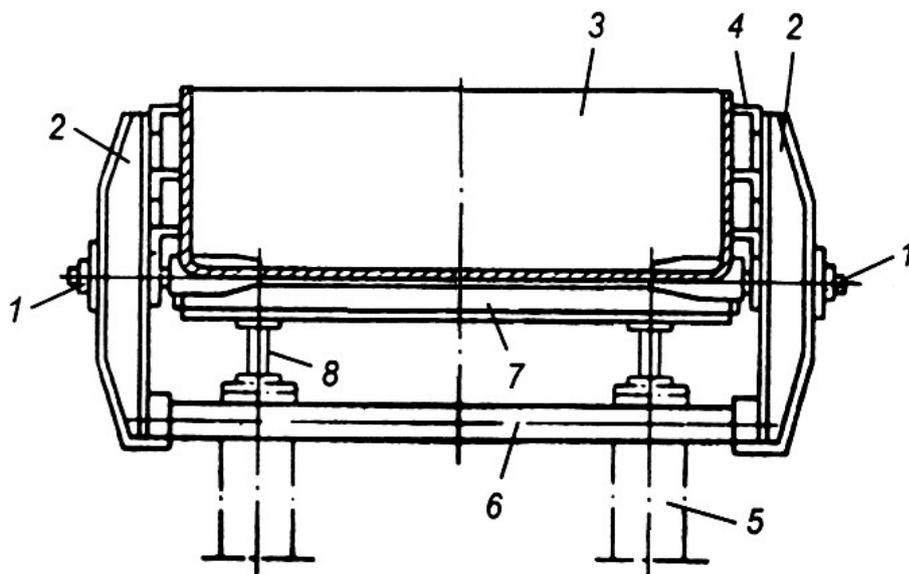
*a* – поздовжній розріз; *б* – поперечний розріз;

1 – фундамент; 2 – піщаний шар; 3 – червона цегла;  
4 – шамотна цегла; 5 – анкер; 6 – вуглецева подушка;

7 – вугільні блоки; 8 – засипка з глинозему; 9 – сталевий кожух;

10 – лист кожуха; 11 – подовий шов; 12 – вугільні  
подові блоки; 13 – катодний стрижень (блюмс)

Рисунок 4 – Катодний пристрій електролізера з кожухом без днища



- 1 – стяжна балка з гайкою; 2 – контрфорси; 3 – корито  
 кожуха; 4 – елементи жорсткості поздовжніх стінок;  
 5 – залізобетонна колона; 6 – розпірна балка контрфорсів;  
 7 – поперечна сталева балка; 8 – поздовжня балка

Рисунок 5 – Кожух с днищем контрфорсного типу

В електролізерах з верхнім підведенням струму штири розташовуються в чотири ряди в вуглецевій масі вздовж анода, а по висоті анода – зазвичай на двох, рідше на чотирьох горизонтах. По мірі спрацьовування анода він опускається за допомогою основного механізму.

В електролізерах з випаленими анодами анодний масив зібраний із попередньо випалених вугільних блоків, розташованих в два ряди вздовж ванни (рис. 2, в). Кожний анод – вугільний блок шириною 700–900 мм, заввишки 550–650 мм і завдовжки 1450–1600 мм. У блоці (рис. 2, в) є гнізда, в які чавуном заливають сталевий кронштейн. Чавун застосовують тому, що він має однаковий з матеріалом анода коефіцієнт теплового розширення. Кронштейн сполучений з алюмінієвим анодотримачем (штангою). Штанги анодотримачей притискають до анодних шин спеціальними затисками. Шини виконують функції анодної рами, одночасно підводять струм та утримують вагу елементів конструкції. Переміщення анодної рами з анодним масивом здійснюється підйомним механізмом, аналогічним основному механізму у електролізерів з самоспільним анодом і верхнім струмопідведенням.

## 2 ЕЛЕКТРОЛІЗЕРИ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ МАГНІЮ

Магнієві електролізери відрізняються від алюмінієвих електролізерів:

а) анодні відсіки електролізерів слід добре герметизувати, оскільки на аноді утворюється газоподібний хлор, який в подальшому використовують у виробництві титану;

б) у конструкції магнієвих електролізерів має бути передбачено розділення магнію та хлору, що утворюються, для уникнення взаємодії цих речовин;

в) магнієві електролізери футерують вогнетривами з алюмосилікатів через погану розчинність оксидів металів у хлоридному розплаві;

г) в магнієвих електролізерах не треба постійно нарощувати або часто замінювати аноди, оскільки хлор, що утворюється на графітованих анодах, не вступає у взаємодію з ними.

У виробництві магнію застосовують електролізери двох типів – діафрагмові і бездіафрагмові.

*Діафрагмовий електролізер* має прямокутний кожух, зварений зі сталевого листа (завтовшки 12 мм) і укріплений ребрами жорсткості. Зсередини кожух обклеєно листовим азбестом (завтовшки 10 мм). Черинь і стінки шахти викладені з діатомітової і шамотного цегли. Аноди виконують з графітованих вугільних блоків, а катоди – з маловуглецевої сталі марки Ст.3.

Катоди і аноди розташовані в шахті вертикально і скомплектовані в електродних пакетах, підключених до шин, які підводять струм, по паралельній схемі. Кожен такий пакет складається з анода і розташованих по обидві його сторони двох або чотирьох катодів. Число пакетів залежить від продуктивності електролізера. Струмове навантаження на один пакет становить 15–20 кА.

Катод діафрагмового електролізера складається зі сталевого листа, зміцненого ребрами жорсткості, та струмопідводної штанги з вуглецевої сталі. У нормально працюючому електролізері катоди розташовані строго паралельно анодам при межполюсній відстані 5–8 см. Термін роботи катодів діафрагмових електролізерів складає 2,0–2,5 року.

Між анодами і катодом в електроліт занурено на глибину 150–250 мм керамічні перегородки (діафрагми), завдяки яким простір над анодами (анодні комірки), куди спливають бульбашки хлору, відокремлюється від катодних комірок, де накопичується магній. Анодні комірки зверху герметизують

шамотобетонними перекриттями, які прокладено на всю ширину ванни. За поздовжньою віссю перекриття має проріз для анода. Термін роботи електролізера визначається зносом діафрагми.

Діафрагмові електролізери можуть мати верхнє, бічне або нижнє введення анодів. При *бічному введенні* кінці *анода* закладено в кладку бічних стінок електролізера. Струм підводиться з двох сторін алюмінієвими стрижнями, з'єднаними з анодом чавунною заливкою.

В електролізерах з *верхнім введенням анодів* (рис. 2.25) заміна анодів можлива без відключення електролізера. Найбільш вразливою є верхня частина анода, яка виступає над електролітом. Для зменшення швидкості окислення графіту, виступаючі частини анода просочують ортофосфорною кислотою або розплавленим метафосфатом натрію. Хороший ефект дає також водяне охолодження анодних головок, прийняте на деяких закордонних заводах. Термін роботи електролізерів з верхнім введенням становить 12–14 місяців.

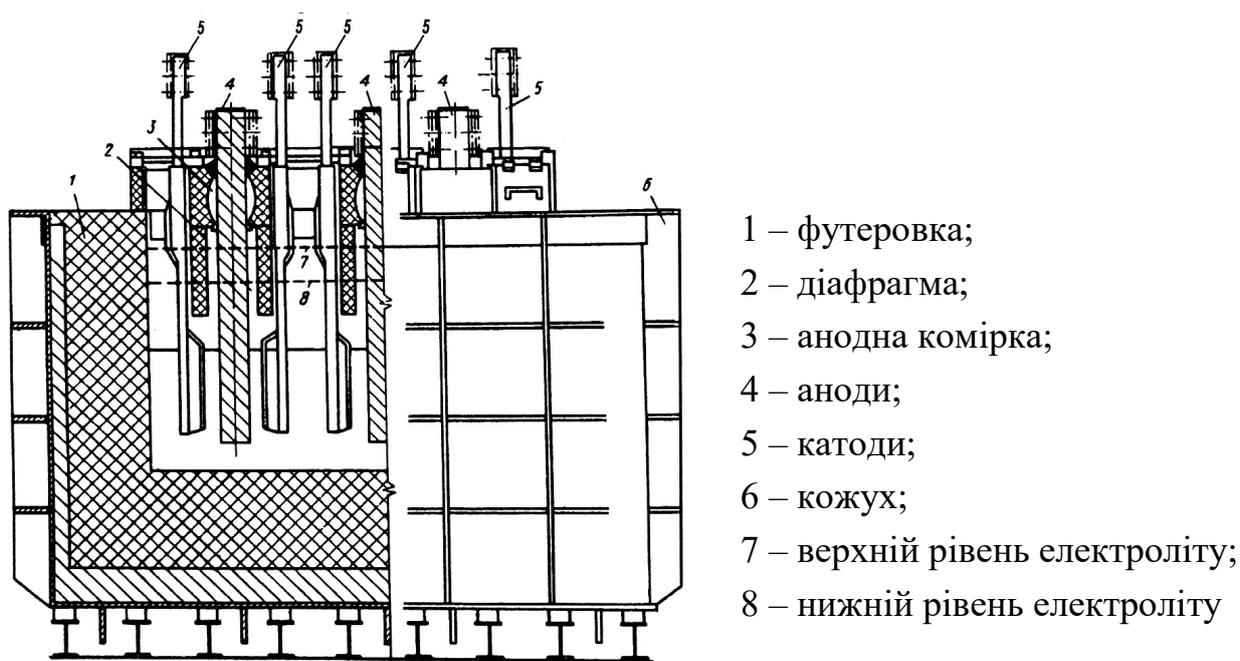
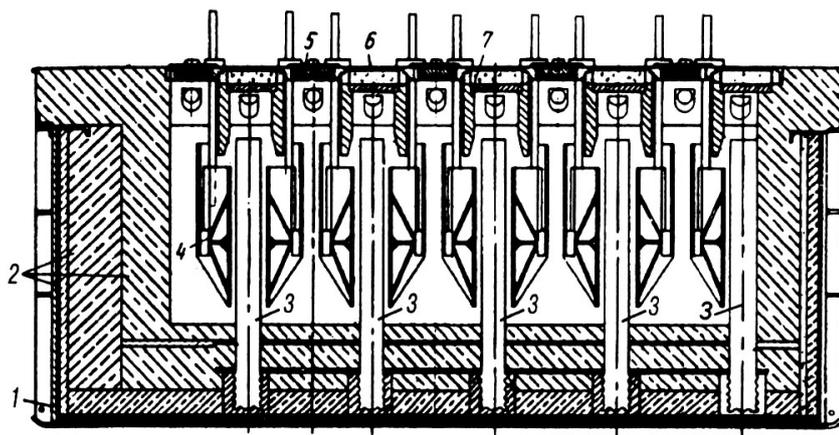


Рисунок 6 – Діафрагмовий електролізер з верхнім введенням анодів

В електролізерах з *нижнім введенням анодів* (рис. 7) зазначені не-доліки відсутні, але ускладнена механізація видалення шламу. Експлуатація їх на карналіті показала, що при інших рівних умовах вихід за струмом на 2–3 % більше і падіння напруги на 0,1–0,2 В менше, ніж у електролізерів з боковим введенням анодів. Іншою перевагою цього електролізера є можливість підвищення його потужності через збільшення ширини робочого простору.

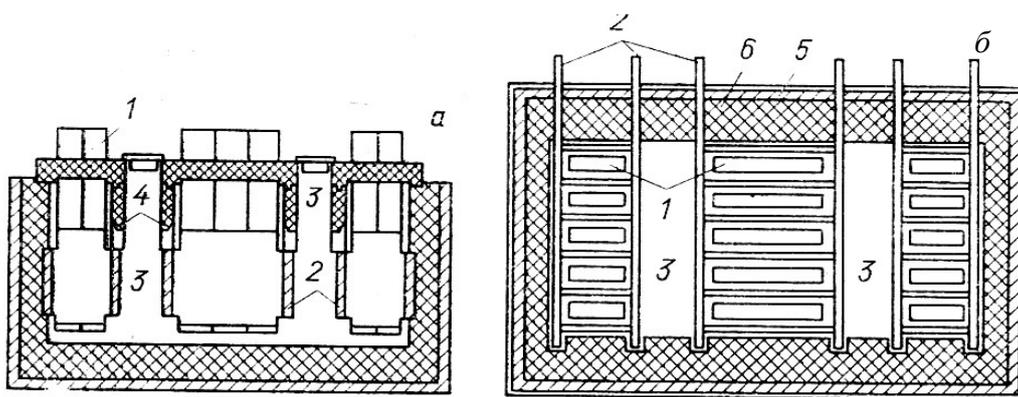


1 – кожух; 2 – футеровка; 3 – аноди; 4 – катоди; 5 – катодні кришки; 6 – анодні перекриття; 7 – діафрагми

Рисунок 7 – Діафрагмовий електролізер з нижнім введенням анодів

Відмінності *бездіафрагмових електролізерів* (рис. 8) порівняно з діафрагмовими: а) комірки для збирання магнію відокремлені перегородками від електролізних (робочих) комірок; б) в робочих комірках катодний і анодний простір не розділені діафрагмами; в) катоди закріплені нерухомо, повністю занурені в електроліт, а їх кінці виведено через бічну футеровку.

У бездіафрагмових електролізерах робочий простір більш насичений електродами, ніж в діафрагмових, тому і продуктивність в розрахунку на 1 м<sup>2</sup> електроліту в 1,4–1,5 разів вище.

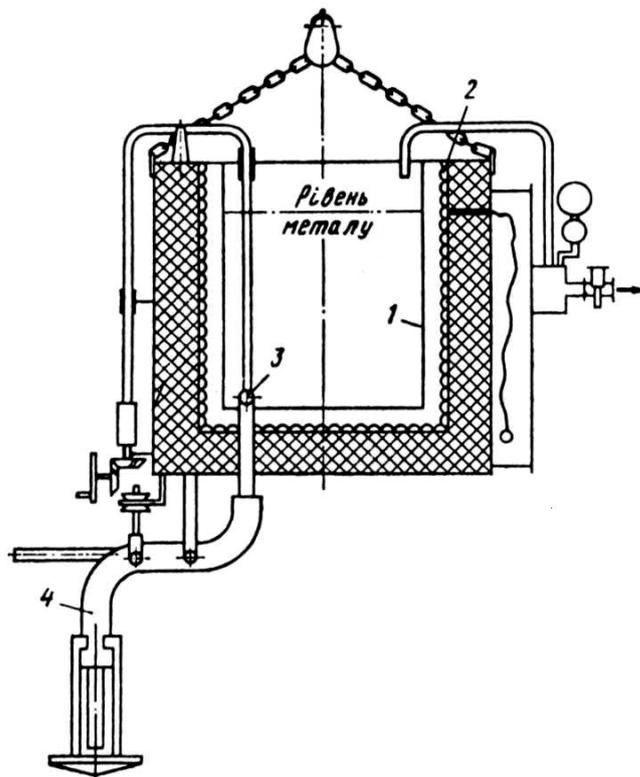


а – поздовжній розріз; б – поперечний розріз; 1 – аноди; 2 – рамні катоди; 3 – збірні комірки; 4 – перегородки; 5 – кожух; 6 – футеровка  
Рисунок 8 – Бездіафрагмовий електролізер із верхнім введенням анодів і рамним катодом, трьома електролізними відділеннями та двома збірними комірками

Перегородки між робочими і збірними комірками перешкоджають змішуванню магнію і хлору, що виділяються. Аноди зібрані з графітових брусів таким самим способом, як і для діафрагмових електролізерів. Ширина анодів визначається шириною робочої комірки. Катоди в кожній комірці об'єднані в єдину конструкцію – рамний катод, що складається з декількох жорстко з'єднаних сталевих листів товщиною 50 мм, розміщених між анодами. Межполюсна відстань є нерегульованою, її величина (6,5 см) змінюється тільки в міру зносу анодної поверхні.

Обслуговування електролізерів складається з завантаження в них сировини і добавок (3–4 рази на добу), підтримання заданих режимів роботи, витягання отриманого магнію (2–3 рази на добу) і шламу.

Для видалення шламу застосовують спеціальний пристрій, що відсмоктує, уявляє собою коліно з двох труб. Вертикальну трубу підключають до вакуум-ковша (рис. 9), і вона може обертатися навколо своєї осі, переміщаючи перфоровану горизонтальна трубу по дну електролізера. Частота видалення шламу залежить від виду сировини.



- 1 – тигель;
- 2 – нагрівач;
- 3 – запірний клапан;
- 4 – забірний пристрій

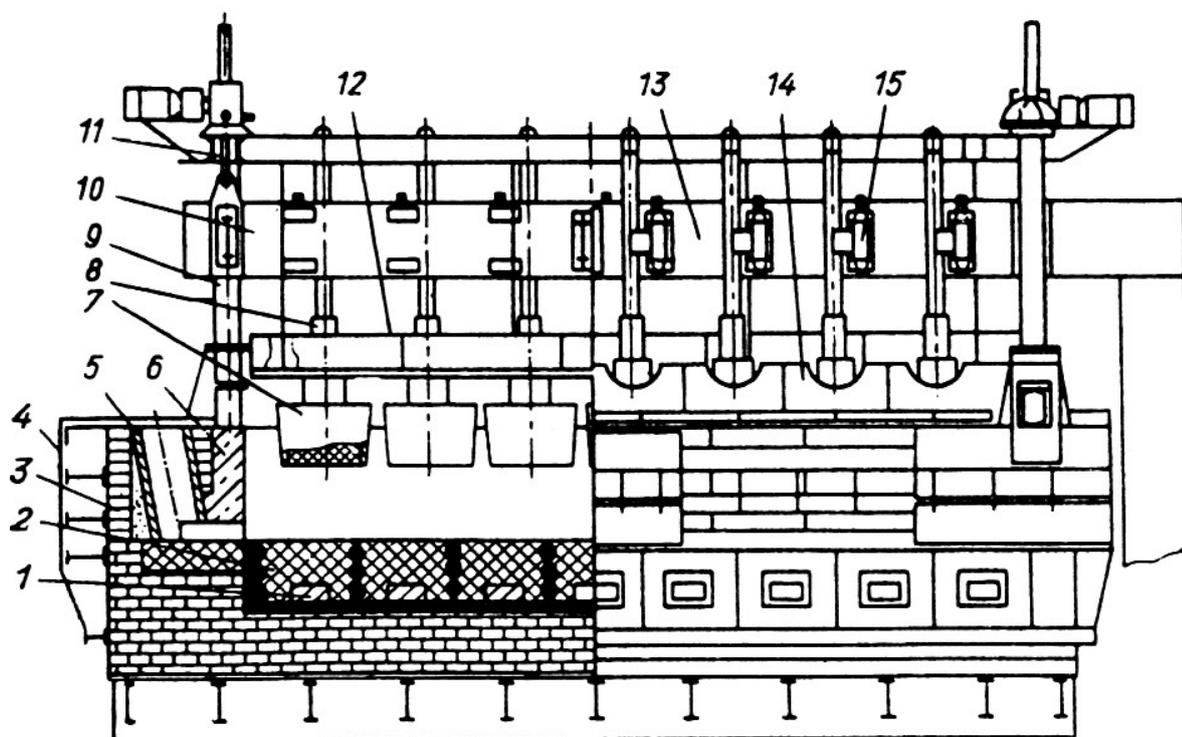
Рисунок 9 – Вакуум-ківш для витягання магнію

### 3 ЕЛЕКТРОЛІЗЕРИ ДЛЯ РАФІНУВАННЯ АЛЮМІНІЮ ТА МАГНІЮ

#### 3.1 Електролізери для рафінування алюмінію

Сучасні електролізери для електролітичного рафінування алюмінію конструюються на силу струму до 75 кА. Катодна і анодна щільності токаодинакові і складають 0,5–0,6 А/см<sup>2</sup>.

По своєму зовнішньому вигляду рафінувальні електролізери схожі на електролізери з випаленими анодами, проте анодний пристрій у них розташований знизу, а катодний пристрій – згори ванни (рис. 10).



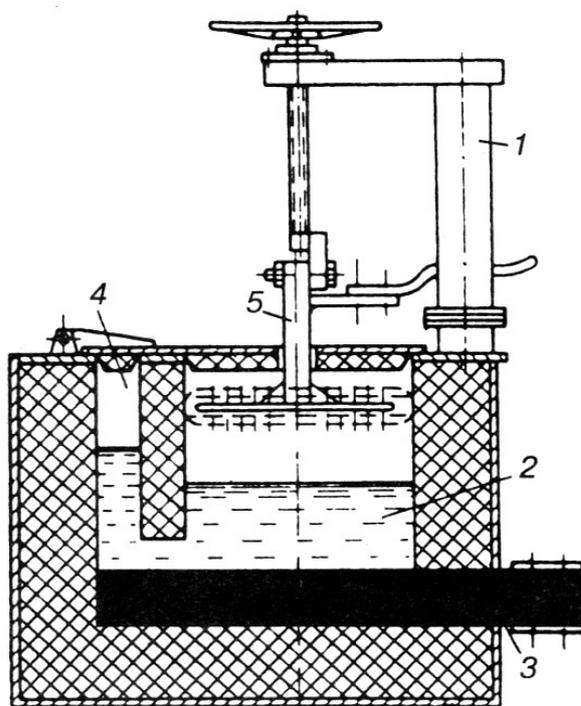
- 1 – сталевий стрижень (блюмс); 2 – вугільний череневий блок;  
3 – шамотна футеровка; 4 – кожух; 5 – завантажувальна кишеня;  
6 – магнезитова футеровка; 7 – катод; 8 – катодна алюмінієва штанга;  
9 – металоконструкція, що несе; 10 – катодна рама; 11 – підйомний механізм; 12 – кришка стаціонарна; 13 – катодна шина; 14 – кришка алюмінієва знімна; 15 – ексцентриковий затискач

Рисунок 10 – Електролізер для рафінування алюмінію

### 3.2 Електролізери для рафінування магнію

Електролізер для електролітичного рафінування магнію надано на рис. 11. Прямокутний сталевий кожух електролізера усередині викладено високоглиноземною вогнетривкою цеглою. Черінь – графітований блок, з'єднаний з позитивним полюсом джерела постійного струму, а від катодного магнію (зверху) струм відводиться по сталевому пластинчастому катоду, зануреному в рідкий метал.

На черені знаходиться анодний сплав, в який через кишеньку в міру розчинення додають магній в твердому або рідкому стані. Чистий катодний магній, що накопичується зверху, час від часу відсмоктують вакуумним ковшем. Домішки, що накопичується в анодному сплаві, утворюють з магнієм інтерметаліди, які в твердому вигляді осаджуються на черені. З електролізера їх видаляють через кишеньку.



- 1 – поворотний кронштейн; 2 – анодний сплав;  
3 – графітовий анод; 4 – кишенька для завантаження  
анодного металу; 5 – сталевий пересувний катод

Рисунок 11 – Електролізер для рафінування магнію за тришаровим способом

Електролізер для електричного рафінування магнію працює за анодною щільністю струму  $0,6-0,8 \text{ A/cm}^2$  і катодною щільністю струму  $0,6-1,0 \text{ A/cm}^2$ . Междуполюсна відстань становить  $7,5-12,0 \text{ см}$ , напруга – близько  $4,0-4,5 \text{ В}$ . Вихід за струмом катодного магнію дорівнює  $90-95 \%$ . Питома витрата електроенергії постійного струму становить  $9,5-10,0 \text{ кВт}\cdot\text{год/кг}$ . Електролітичне рафінування магнію є безперервним процесом.