

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисциплін

**«РЕМОНТ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ  
ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ»  
«РЕМОНТ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ»**

Частина 4

**Основи ремонту акумуляторних батарей**

*(для студентів 4 і 5 курсів денної та заочної форм навчання  
курсу за напрямом підготовки 6.050702 «Електромеханіка» спеціальності  
«Електричний транспорт»)*

**Харків – ХНАМГ – 2012**

Конспект лекцій з дисциплін «Ремонт технічних засобів електричного транспорту», «Ремонт технічних засобів метрополітену». Частина 4. «Основи ремонту акумуляторних батарей» (для студентів 4 і 5 курсів денної та заочної форм навчання курсу за напрямом підготовки 6.050702 «Електромеханіка» спеціальності «Електричний транспорт») / В. Х. Далека, М. В. Хворост, М. А. Голтв'янський, О. С. Гордієнко; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2012. – 113 с.

Автори: В. Х. Далека,  
М. В. Хворост,  
М. А. Голтв'янський,  
О. С. Гордієнко.

Рецензент: к.т.н. доц. І. Л. Скуріхін

Рекомендовано кафедрою «Електричний транспорт»,  
протокол № 2, від 21.09. 2010 р.

## ЗМІСТ

Стор.

|   |  |    |
|---|--|----|
| 1 | КЛАСИФІКАЦІЯ ХІМІЧНИХ ДЖЕРЕЛ СТРУМУ.....                                 | 5  |
| 2 | ВИМОГИ ДО ХІМІЧНИХ ДЖЕРЕЛ СТРУМУ.....                                    | 6  |
| 3 | ОСНОВНІ ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ СИСТЕМИ АКУМУЛЯТОРІВ.....                         | 7  |
| 4 | ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКУМУЛЯТОРІВ.....                                 | 8  |
|   | 4.1 Електрорушійна сила.....   | 8  |
|   | 4.2 Внутрішній опір.....   | 10 |
|   | 4.3 Напруга.....   | 11 |
|   | 4.4 Потужність.....  | 12 |
|   | 4.5 Ємність.....   | 14 |
|   | 4.6 Коефіцієнт віддачі.....  | 16 |
|   | 4.7 Саморозряд.....  | 17 |
|   | 4.8 Термін служби.....   | 17 |
|   | 4.9 Економічні й експлуатаційні характеристики.....                      | 18 |
| 5 | СВИНЦЕВО-КИСЛОТНІ АКУМУЛЯТОРИ.....                                       | 19 |
|   | 5.1 Застосування свинцево-кислотного акумулятора в сучасній техніці..... | 20 |
|   | 5.2 Пристрій свинцево-кислотного акумулятора.....                        | 21 |
|   | 5.3 Принцип дії свинцево-кислотного акумулятора.....                     | 25 |
|   | 5.4 Основні характеристики свинцево-кислотного акумулятора.....          | 29 |
| 6 | ЕКСПЛУАТАЦІЯ СВИНЦЕВО-КИСЛОТНОГО АКУМУЛЯТОРА.....                        | 36 |
|   | 6.1 Приведення в дію.....  | 36 |
|   | 6.2 Невідкладні та поточні ремонти акумуляторів.....                     | 37 |
|   | 6.2.1 Ремонт і заміна акумуляторних посудин.....                         | 37 |
|   | 6.2.2 Виправлення переполюсованих елементів.....                         | 38 |
|   | 6.2.3 Усунення коротких замикань в елементах.....                        | 39 |
|   | 6.2.4 Виправлення викривлених пластин.....                               | 41 |
|   | 6.2.5 Ліквідація сульфатації пластин.....                                | 41 |
|   | 6.2.6 Відкачування шламу.....  | 42 |
|   | 6.2.7 Усунення шкідливих домішок з електроліту.....                      | 45 |
|   | 6.2.8 Виправлення відстаючих елементів.....                              | 46 |
|   | 6.2.9 Виправлення деформації стелажів.....                               | 48 |
|   | 6.2.10 Заміна сепарації в окремих елементах.....                         | 49 |
|   | 6.2.11 Заміна пластин.....   | 50 |
| 7 | КАПІТАЛЬНИЙ РЕМОНТ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ.....                            | 53 |
|   | 7.1 Організація капітального ремонту.....                                | 53 |
|   | 7.2 Підготовка до капітального ремонту акумуляторної батареї.....        | 54 |
|   | 7.3 Підготовка запасних деталей і матеріалів.....                        | 54 |
|   | 7.4 Розбирання акумуляторів.....   | 63 |
|   | 7.5 Підготовка пластин та інших деталей до збирання акумуляторів.....    | 64 |
|   | 7.6 Установка акумуляторних посудин і баків.....                         | 65 |
|   | 7.7 Складання елементів.....   | 66 |

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 7.8  | Гази, що застосовуються для паяння.....                                | 69  |
| 7.9  | Пайка пластин.....   | 71  |
| 7.10 | Обладнання і технологія пайки пластин воднево-повітряним полум'ям..... | 73  |
| 7.11 | Повна заміна сепарації.....  | 77  |
| 7.12 | Установка сепараторів в акумулятори.....                               | 78  |
| 7.13 | Заливка електролітом.....  | 79  |
| 8    | ДОПОМІЖНІ РОБОТИ.....  | 80  |
| 8.1  | Перевірка ємності пластин.....   | 80  |
| 8.2  | Луження сепараторів і паличок.....                                     | 83  |
| 8.3  | Зберігання сепараторів.....  | 84  |
| 8.4  | Складання електроліту.....   | 85  |
| 8.5  | Перший (формувальний) заряд відремонтованих акумуляторів.....          | 87  |
| 8.6  | Післяремонтні випробування батареї.....                                | 91  |
| 9    | НІКЕЛЬ-КАДМІЄВІ АКУМУЛЯТОРИ.....                                       | 95  |
| 9.1  | Застосування нікель-кадмієвого акумулятора у сучасній техніці.....     | 95  |
| 9.2  | Конструкція нікель-кадмієвого акумулятора.....                         | 96  |
| 9.3  | Принцип дії нікель-кадмієвого акумулятора.....                         | 101 |
| 9.4  | Основні характеристики нікель-кадмієвого акумулятора.....              | 103 |
| 10   | ЕКСПЛУАТАЦІЯ НІКЕЛЬ-КАДМІЄВИХ АКУМУЛЯТОРІВ.....                        | 108 |
| 10.1 | Приведення в дію.....  | 108 |
| 10.2 | Основні несправності.....  | 108 |
| 11   | КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АКУМУЛЯТОРІВ.....                            | 110 |

## 1. КЛАСИФІКАЦІЯ ХІМІЧНИХ ДЖЕРЕЛ СТРУМУ

Хімічні джерела струму (ХДС) – це пристрої, за допомогою яких хімічна енергія активних речовин під час протікання просторово-окремих окислювально-відновлювальних процесів перетворюється безпосередньо в електричну енергію.

Всі відомі різновиди ХДС поділяються на дві групи: хімічні елементи (первинні джерела струму) та електрохімічні акумулятори (вторинні джерела струму).

До *первинних* ХДС відносяться такі, в яких допускається лише одноразове використання їхніх активних речовин. При цьому віддача електричної енергії може бути здійснена в один або декілька етапів. Повністю розряджений хімічний елемент до подальшої роботи не придатний. Первинні ХДС поділяються на дві групи: елементи з рідким електролітом і сухі елементи, що містять невиливний електроліт.

У системах електропостачання (СЕР) хімічні елементи застосовуються в якості джерел живлення в переносних контрольно-вимірювальних приладах, малогабаритних засобах зв'язку, а також в кишенькових ліхтарях.

*Вторинними* ХДС, або електрохімічними акумуляторами, називаються пристрої, що призначені для багаторазового використання їхніх активних речовин, які регенеруються шляхом заряду. В електричних акумуляторах основні процеси протікають зворотно. Активні речовини, використані під час струмоутворюючої реакції, відновлюються (регенеруються) при пропусканні крізь розряджений акумулятор сталого струму від стороннього джерела електричної енергії.

Конструктивне виконання ХДС може бути найрізноманітнішим, але в принципі як первинні, так і вторинні ХДС складаються з двох електродів (провідників першого роду), що розділені шаром електроліту (провідником другого роду).

Два і більше ХДС, поєднаних між собою, складають батарею. Для отримання напруги, більшої, ніж напруга одного ХДС, їх з'єднують послідовно. Для отримання струму, більшого, ніж номінальний струм одного ХДС, їх з'єднують паралельно.

## 2. ВИМОГИ ДО ХІМІЧНИХ ДЖЕРЕЛ СТРУМУ

ХДС в якості джерел електричної енергії повинні відповідати як загальним, так і специфічним вимогам, зумовленим застосуванням їх в системах електропостачання.

До загальних вимог відносять:

- висока надійність (0,999 ÷ 0,9999);
- тривалий строк служби і збереження в залитому стані;
- мінімальний саморозряд;
- відсутність шкідливого впливу на навколишню апаратуру та обладнання;
- мала вага і габарити;
- відносно мала вартість;
- безпека для обслуговуючого персоналу.

Основними специфічними вимогами, яким повинні відповідати ХДС, є:

- високі значення питомих характеристик;
- механічна міцність;
- пологість розрядних характеристик;
- малий внутрішній опір;
- широкий інтервал робочих температур;
- можливість роботи в будь-якій просторовій орієнтації;
- простота в експлуатації, обслуговуванні та ремонті;
- можливість дистанційного контролю технічного стану.

При проектуванні ХДС важко врахувати всі перелічені раніше вимоги, оскільки більш повна відповідність одним призводить до невідповідності іншим. Тому при проектуванні ХДС враховують ті вимоги, які найбільш повно відповідають тактично-технічним вимогам, що висуваються до СЕП в цілому.

### 3. ОСНОВНІ ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ СИСТЕМИ АКУМУЛЯТОРІВ

Основою дії ХДС є електрохімічна система – сукупність активних речовин та електроліту, в результаті хімічної взаємодії яких може бути отримана електрична енергія.

Умовно електрохімічна система зображується наступним чином:

(—) активна речовина | електроліт | активна речовина (+)

Речовини, що утворюють електрохімічні системи, називають активними масами.

Конструктивно оформлена електрохімічна система – це і є ХДС.

Незважаючи на велику кількість речовин, які можуть бути використані для створення електрохімічних систем, їхнє число, що покладене в основу дії ХДС промислового значення, незначне. У таблиці 3.1 наведені основні електрохімічні системи актуальних акумуляторів.

Таблиця 3.1 – Основні електрохімічні системи акумуляторів

| Електрохімічна система |                                |           | Назва акумулятора  | ЕРС, В | Теоретична питома енергія, Вт·год/кг |
|------------------------|--------------------------------|-----------|--------------------|--------|--------------------------------------|
| (-)Pb                  | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | PbO (+)   | Свинцево-кислотний | 2,10   | 175                                  |
| (-)Cd                  | KOH                            | NiOOH (+) | Нікель-кадмієвий   | 1,36   | 220                                  |
| (-)Fe                  | KOH                            | NiOOH (+) | Нікель-залізний    | 1,40   | 273                                  |
| (-)Cd                  | KOH                            | AgO (+)   | Срібно-кадмієвий   | 1,40   | 295                                  |
| (-)Zn                  | KOH                            | AgO (+)   | Срібно-цинковий    | 1,85   | 459                                  |

Практичне використання ХДС деяких електрохімічних систем обмежується наступними причинами: токсичністю електролітів, що застосовуються, малими значеннями електродних потенціалів, дефіцитом або агресивністю речовин, що застосовуються в якості активних мас, неприйнятними вагою, габаритами і конструктивним виконанням самих ХДС.

## 4. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКУМУЛЯТОРІВ

### 4.1 Електрорушійна сила

Якщо занурити два твердих тіла (електроди), що мають електронну провідність, у розчин електроліту, то можна спостерігати наявність різниці потенціалів між ними. Різниця потенціалів виникає на межі поділу фізично і хімічно різнорідних речовин. При замиканні електродів на зовнішній опір в мережі протікає електричний струм. Тобто система з двох електродів, розділених шаром електроліту, спроможна служити джерелом електричної енергії. Електрична енергія такого джерела є наслідком відповідних електрохімічних процесів, що протікають на обох електродах: на позитивному електроді відбувається реакція окислення, а на негативному – реакція відновлення. Розглянемо природу цього явища.

На межі контакту електрода та електроліту виникає стрибок потенціалу. Це явище в хімії пояснюється дією двох протилежно направлених сил. Одна намагається направити іони електрода в електроліт, а інша – виділити їх з електроліту на поверхню електрода. Залежно від співвідношення цих сил відбувається те чи інше переміщення іонів і, як наслідок, пов'язане з ними пересування електричних зарядів. Це призводить до того, що поверхня електрода і дотична до нього поверхня електроліту набувають електричних зарядів з протилежними знаками, утворюючи подвійний електричний шар (рис. 4.1). Подвійний електричний шар можна порівняти з конденсатором, один бік якого є поверхнею електрода, а інший – шар іонів в електроліті біля поверхні електрода. Між протилежнозарядженими боками і виникає різність або сплеск потенціалу. На рис. 4.2 наведена зміна потенціалу в подвійному електричному шарі.

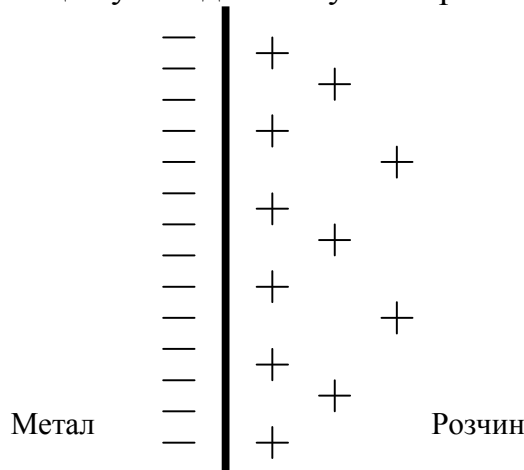


Рис. 4.1 – Подвійний електричний шар  
(розчин заряджений позитивно, метал - негативно)



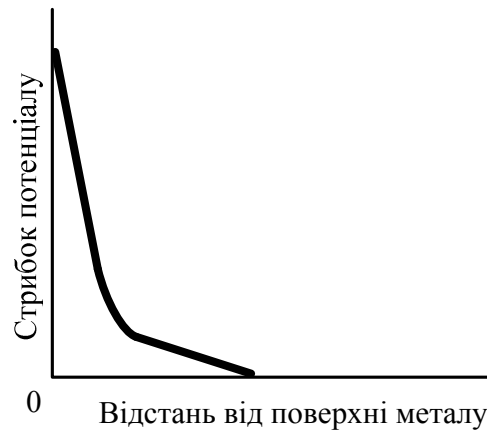


Рис. 4.2 – Зміна потенціалу в подвійному електричному шарі

У міру переходу іонів в електроліт різниця потенціалів між електродом і шаром іонів біля його поверхні починає поступово зростати і досягає такої величини, коли відщеплення іонів з поверхні електрода припиняється і система переходить в рівноважний стан. Різниця рівноважних потенціалів при вимкненому зовнішньому ланцюзі називається електрорушійною силою (ЕРС) ХДС і позначається через

$$E = \pi_{(+)} - \pi_{(-)}, \quad (4.1)$$

де  $\pi_{(+)}$  і  $\pi_{(-)}$  — потенціали позитивного і негативного електродів відповідно.

З електрохімії відомо, що потенціал металічного електрода може бути визначений з рівняння:

$$\pi = \pi_0 + \frac{0,0002}{Z} T \lg|C|, \quad (4.2)$$

де  $\pi_0$  — нормальний потенціал;

$T$  — температура електроліту, °К;

$C$  — концентрація іонів металу,

$Z$  — число електронів, що беруть участь в реакції.

Виміряти потенціал можна, визначивши різницю потенціалів між випробовуваним електродом і так званим електродом порівняння, власний потенціал якого умовно дорівнює нулю. Такими електродами є водневий, каломельний та ін.

Потенціали електродів при роботі ХДС (розряді або заряді) відрізняються від потенціалів, виміряних при розімкненому зовнішньому ланцюзі, на величину ЕРС поляризації  $E_p$ :

$$\pi_{(+)} - \pi_{(-)} - (\pi'_{(+)} - \pi'_{(-)}) = E_n, \quad (4.3)$$

де  $\pi'_{(+)}$  и  $\pi'_{(-)}$  — потенціали електродів при роботі ХДС.

Характер походження  $E_n$  може бути різний: концентраційний, хімічний і електрохімічний. Концентраційна поляризація викликається сповільненістю стадій підведення реагентів в зону реакції і відведення продуктів реакції. Хімічна поляризація обумовлена сповільненістю хімічних стадій електродного процесу. Електрохімічна поляризація викликається сповільненістю власне електрохімічних стадій електродного процесу.

## 4.2 Внутрішній опір

Повним внутрішнім опором ХДС називається опір, який він надає постійному струму, що проходить крізь нього:

$$R_{\text{пов}} = R + R_n, \quad (4.4)$$

де  $R$  – дійсний омичний опір, що складається з опору електродів, електроліту, сепараторів, струмовідводів;

$R_n$  – опір поляризації, залежний від ЕРС поляризації і величини поляризуючого струму.

Опір поляризації не підкорюється закону Ома. При збільшенні струму  $E_n$  зростає, але збільшення її відстає від збільшення струму:

$$R_n = \frac{E_n(I)}{I} \quad (4.5)$$

При протіканні великих струмів  $R_n$  наближається до нуля, а повний внутрішній опір наближається до омичного. Повний внутрішній опір ХДС не є постійною величиною, він залежить від ступеня розрядженості акумулятора. У міру розряду ХДС повний внутрішній опір зростає, оскільки збільшуються обидві його складові. Залежно від ступеня розрядженості ХДС повний внутрішній опір коливається від  $10^{-5}$  до  $10^{-1}$  Ом.

Із підвищенням температури повний внутрішній опір зменшується. Збільшення розміру ХДС призводить до зменшення внутрішнього опору внаслідок збільшення площі дотику електроліту до електродів.

Внутрішній опір є важливим параметром ХДС, оскільки, наприклад, величина напруги ХДС залежить не тільки від величини ЕРС, але і від величини внутрішнього опору. При великому внутрішньому опорі ХДС не може забезпечити режим розряду великими струмами.

### 4.3 Напруга

Напругою акумулятора є різниця потенціалів електродів при замкненому зовнішньому колі. Розрізняють розрядну і зарядну напруги.

*Напруга розряду* дорівнює різниці її ЕРС і падіння напруги на повному внутрішньому опорі:

$$U_p = E - R_{\text{пов } p} I_p = E - E_{\text{п } p} - R_p I_p \quad (4.6)$$

Із (4.6) зрозуміло, що напруга розряду завжди менше ЕРС ХДС. При незмінній величині розрядного струму  $I_p$  і постійній температурі електроліту напруга розряду зменшується при повному розряді акумулятора до нуля зі збільшенням часу розряду внаслідок збільшення  $E_{\text{п}}$  і  $R_p$ . Графік зміни напруги в часі при розряді ХДС називається розрядною кривою (рис. 4.3). Зі збільшенням струму розряду інтенсивність падіння напруги зростає. Розрядна крива має складний вигляд. На сьогодні відсутні теоретичні рівняння розрядної кривої. У практиці експлуатації деяких ХДС використовують запропоновану Б.В. Беляєвим емпіричну формулу, що описує розрядну криву:

$$\frac{U_t}{U_0} = 1 - A \left( \frac{r_k t}{R t_k} \right)^\beta - (1 - A) \left( \frac{r_k t}{R t_k} \right)^\gamma, \quad (4.7)$$

де  $U_0$  і  $U_t$  — напруга початкова і напруга в момент часу  $t$ ;

$R_k$  і  $R_n$  — внутрішній опір ХДС при короткому замиканні і опір навантаження;

$t_k$  — час повного розряду в режимі максимальної потужності;

$A, \beta, \gamma$  — сталі величини.

Рівняння (4.7) дозволяє проводити розрахунок розрядних кривих ХДС на сталий опір навантаження  $R_n$ .

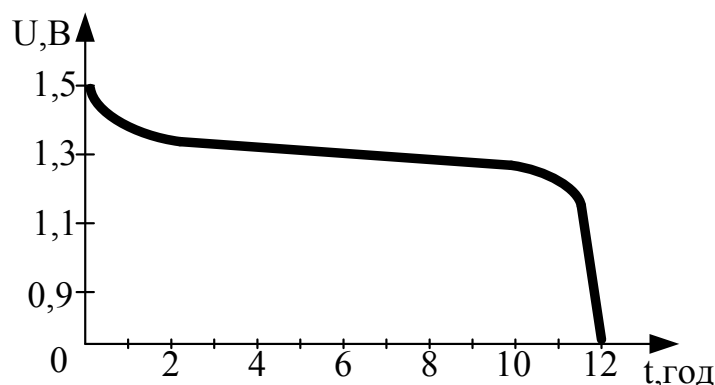


Рис. 4.3 – Графік розрядної напруги нікель-кадмієвого акумулятора при нормальній температурі та струмі розряду, що чисельно дорівнює  $I_p = 0,1 Q_n$

*Напруга заряду* ХДС дорівнює сумі її ЕРС і падіння напруги на повному

внутрішньому опорі:

$$U_3 = E + R_{\text{пов } 3} I_3 = E + E_{\text{п } 3} + R_3 I_3 \quad (4.8)$$

Зарядна напруга завжди більше ЕРС. При постійній величині струму заряду  $I_3$  і постійній температурі електроліту зарядна напруга збільшується зі збільшенням часу заряду унаслідок збільшення ЕДС. Омичний опір  $R_3$  під час заряду знижується. У кінці заряду, коли в основному протікає процес електролізу води, зарядна напруга стабілізується.

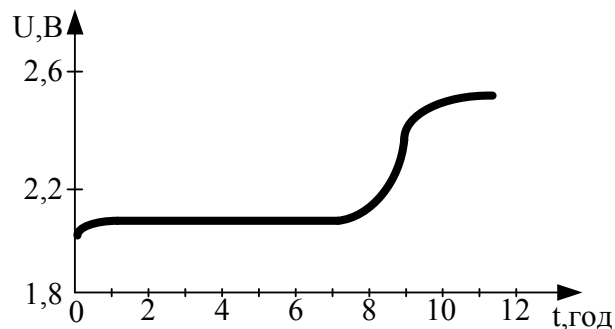


Рис. 4.4 – Графік зарядної напруги свинцево-кислотного акумулятора при 10-годинному режимі заряду

На рис. 4.4 наведена типова зарядна крива свинцево-кислотного акумулятора при 10-годинному режимі заряду. Кількість газу, що виділяється в кінці заряду ХДС внаслідок електролізу води, можна визначити за формулами

$$V_{\text{H}_2} = 0,418 \tau_3 I_3; \quad V_{\text{O}_2} = 0,209 \tau_3 I_3, \quad (4.9)$$

де  $I_3$  — струм заряду, А;

$\tau_3$  — час заряду, протягом якого відбувається газовиділення, год.

Числа 0,418 і 0,209 означають об'єм водню і кисню, що виділяються за нормальних умов, л/(А·год).

#### 4.4 Потужність

Потужністю називається кількість енергії, що віддається ХДС в одиницю часу. Максимальна теоретична потужність, якою володіє ХДС, дорівнює

$$P_{\text{теор}} = EI_p \quad (4.10)$$

На практиці таку потужність одержати не можна, оскільки частина енергії, що утворюється, безповоротно витрачається в процесі роботи джерела. Підставивши в (4.10) значення  $E$  з (4.6) і враховуючи, що  $U_p = R_{\text{н}} I_p$ , одержимо

новий вираз теоретичної потужності:

$$P_{\text{теор}} = I_p^2 R_H + I_p^2 R_{\text{пов}}, \quad (4.11)$$

де  $I_p^2 R_H$  — потужність, яку ХДС розвиває у зовнішньому колі;

$I_p^2 R_{\text{пов}}$  — втрата потужності всередині хімічного джерела.

Величина корисної потужності дорівнюватиме

$$P_{\text{пов}} = EI_p - I_p^2 R_{\text{пов}} \quad (4.12)$$

Максимальне значення потужності знайдемо, взявши першу похідну від (4.12) за струмом:

$$\frac{dP_{\text{пов}}}{dI_p} = E - 2I_p R_{\text{пов}} \quad (4.13)$$

Прирівнявши цю похідну до нуля, знайдемо необхідну умову для максимуму корисної потужності:

$$E - 2I_p R_{\text{пов}} = 0 \quad (4.14)$$

Замінімо  $I_p$  відповідно до закону Ома виразом

$$I = \frac{E}{R_H + R_{\text{пов}}},$$

тоді

$$E - 2 \frac{E}{R_H + R_{\text{пов}}} = 0, \quad (4.15)$$

звідки

$$R_H = R_{\text{пов}}$$

Отже, для створення в зовнішньому колі максимальної корисної потужності необхідно, щоб опір зовнішнього кола дорівнював повному внутрішньому опору ХДС. Максимально можливий струм  $I_{\text{макс}}$  може бути одержаний ХДС в тому випадку, коли опір зовнішнього кола  $R_H = 0$ , тобто

$$I_{\text{макс}} = \frac{E}{R_{\text{пов}}} \quad (4.16)$$

Виразивши струм через добуток щільності струму  $j$  на площу електроду  $S_{\text{ел}}$ , вираз (4.10) можна записати у вигляді

$$P_{\text{теор}} = E j S_{\text{ел}} \quad (4.17)$$

З (4.17) витікає, що потужність ХДС можна підвищити шляхом збільшення поверхні електродів. Порівняння ХДС за потужністю мало говорить про досконалість ХДС, оскільки збільшення потужності може бути досягнуте простим збільшенням поверхні електродів. У практиці експлуатації ХДС порівнюють за максимальною потужністю, що віднесена до одиниці об'єму або одиниці маси джерела. Для характеристики ХДС часто використовують зворотні величини: масу і об'єм на одиницю потужності.

#### 4.5 Ємність

*Розрядною ємністю* називається кількість електрики, яку може віддати ХДС при його розряді до певної кінцевої напруги. Теоретичне значення ємності можна визначити за законом Фарадея:

$$Q_{\text{теор}} = Z F n_m \quad (4.18)$$

де  $F$  — число Фарадея, дорівнює 26,8 А·год;

$n_m$  — число молів активної речовини, що зберігається в ХДС;

$Z$  — число електронів, що беруть участь в реакції.

Фактична ємність акумулятора нижча за теоретичну через неповне використання активних речовин і витрати їх на побічні процеси. Фактична ємність при розряді протягом часу  $t$  і постійному струмі  $I_p$  дорівнює

$$Q_p = I_p t \quad (4.19)$$

При розряді акумулятора на постійний зовнішній опір ємність дорівнює

$$Q_p = \int_0^t i_p dt = \frac{1}{R_H} \int_0^t U dt \quad (4.20)$$

Ємність можна визначити за площею, розташованою під розрядною кривою. На рис. 4.5 наведена крива розряду ХДС. Точка А – кінцева напруга розряду.

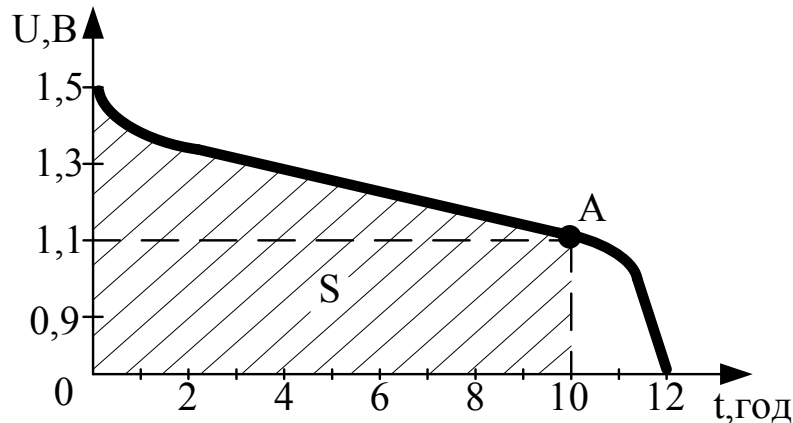


Рис. 4.5 – Графік розрядної напруги нікель-кадмієвого акумулятора при розрядному струмі, що дорівнює  $0,125Q_n$  і температурі  $+20^\circ\text{C}$

Ємність ХДС залежить від кількості активних речовин і коефіцієнта їх використання.

Коефіцієнтом використання активних речовин  $\eta_{\text{вар}}$  називається відношення ваги активних речовин, використовуваних в ХДС, до їх повної ваги:

$$\eta_{\text{вар}} = \frac{mQ_p}{M}, \quad (4.21)$$

де  $m$  — витрати активних речовин, г/(А·год);

$M$  — повна вага активних речовин, г.

Коефіцієнт  $\eta_{\text{вар}}$  залежить від конструкції ХДС і режиму розряду. У кращому випадку він наближається до одиниці, але зазвичай значно менший за цю величину. Для порівняння ХДС використовують величину розрядної ємності, віднесена до одиниці маси або об'єму ХДС, яка називається питомою ємністю.

Збільшення розрядного струму, зниження температури електроліту і підвищення допустимої кінцевої напруги викликає зменшення розрядної ємності ХДС. Зниження ємності при збільшенні розрядного струму пояснюється збільшенням ЕРС поляризації та падінням напруги на дійсному опорі, що зменшує час розряду акумулятора до певної кінцевої напруги. Збільшення температури електроліту викликає підвищення ємності до деякої максимальної величини, а потім її зниження. Зростання ємності пояснюється поліпшенням дифузії електроліту, зменшенням ЕРС поляризації й омичного опору, а падіння – збільшенням саморозряду, зміною структури активних речовин. З пониженням величини допустимої кінцевої напруги розрядна ємність збільшується, оскільки зростає час розряду акумулятора. Проте пониження величини допустимої кінцевої напруги скорочує термін служби ХДС. Крім того, на розрядну ємність ХДС впливають режими попередніх зарядів і розрядів, тривалість зберігання, термін

служби і т.д.

*Зарядною ємністю*  $Q_3$  називають ємність, що сповіщається ХДС при заряді. Величина  $Q_3$  завжди більше за  $Q_p$  через незворотні процеси, що відбуваються при заряді:

$$Q_3 = \int_0^t i_3 dt \quad (4.22)$$

Якщо заряд проводиться при  $I_3 = \text{const}$ , то

$$Q_3 = I_3 t_3 \quad (4.23)$$

Під час висновку про доброякісність виготовлення ХДС перевіряють гарантовану і номінальну ємності, що віддається ними. *Гарантованою* називається ємність, яку повинен віддавати ХДС при його розряді у встановленому режимі. *Номінальною* називається ємність, яку повинен віддати нововиготовлений ХДС в номінальному режимі заряду. Вона визначається для повністю зарядженого акумулятора. Розрізняють ще поняття *експлуатаційної* ємності ХДС, тобто ємності, яку акумулятор може віддати в конкретних умовах експлуатації.

#### 4.6 Коефіцієнт віддачі

Кількість електрики, що витрачається при заряді акумулятора, зважаючи на незворотність процесів, що відбуваються при його роботі, завжди більше одержаної при розряді.

При експлуатації ХДС необхідно знати коефіцієнт використання струму, витраченого на заряд акумулятора. Коефіцієнт цей називають коефіцієнтом віддачі.

Розрізняють коефіцієнт віддачі за ємністю:

$$\eta_Q = \frac{Q_p}{Q_3}, \quad (4.24)$$

коефіцієнт віддачі за напругою:

$$\eta_U = \frac{U_{\text{пер}}}{U_{\text{зсп}}} \quad (4.25)$$

і коефіцієнт віддачі за енергією

$$\eta_A = \frac{A_p}{A_3} = \frac{Q_p}{Q_3} \cdot \eta_U \quad (4.26)$$



## 4.7 Саморозряд

Саморозрядом називається безповоротна втрата ємності ХДС як при розімкненому, так і при замкненому зовнішньому колі внаслідок мимоволі протікаючих всередині нього хімічних процесів. Розрізняють два види саморозряду: нормальний і збільшений. Нормальний саморозряд ХДС залежить тільки від природних властивостей активних речовин. Нормальний саморозряд коливається в межах від декількох сотих відсотка до одного відсотка на добу. Збільшений саморозряд спричинений присутністю домішок в електроліті та в активних речовинах електродів, а також наявністю коротких замикань у внутрішньому колі ХДС. Зниження саморозряду ХДС досягається зменшенням домішок в активних речовинах і електроліті, а також зберіганням ХДС при зниженій температурі.

Для оцінки величини ємності, втраченої на саморозряд, а також для визначення величини струму підзаряду для компенсації цієї втрати використовують емпіричну залежність струму саморозряду від температури навколишнього середовища:

$$I_c = I_0 V^{\frac{\Delta T}{10}}, \quad (4.27)$$

де  $I_0$  — струм саморозряду при температурі  $+20^\circ\text{C}$ , що визначається типом електродів, кількістю сторонніх домішок в активній масі й електроліті;

$V$  — коефіцієнт саморозряду, що визначається типом ХДС і конструкцією електроду;

$\Delta T$  — різниця температури навколишнього середовища і температури  $+20^\circ\text{C}$ .

Саморозряд обмежує термін зберігання ХДС. Під збереженням розуміють час, протягом якого ХДС, що знаходиться при зберіганні, зберігає свої характеристики в допустимих межах. Є окремі типи ХДС, які через підвищений саморозряд зберігаються без електроліту і заливаються електролітом перед початком роботи.

Саморозряд, звичайно, виражають втратою ємності (у відсотках від її первинного значення) в одиницю часу.

## 4.8 Термін служби

Термін служби ХДС визначається числом циклів. Циклом називається процес розряд-заряд ХДС. Термін служби значною мірою залежить від правильності експлуатації ХДС. Наприклад, систематичне недозарядження акумулятора зменшує термін його служби.

Обов'язковою умовою в експлуатації ХДС повинне бути суворе дотримання правил експлуатації, що викладені в спеціальних інструкціях. Відступ від цих правил є причиною скорочення служби ХДС.

#### **4.9 Економічні й експлуатаційні характеристики**

Важливу роль при оцінці різних ХДС грають економічні й експлуатаційні характеристики.

До економічних показників відносяться вартість початкових матеріалів, ступінь їх дефіцитності, наявність сировинної бази, ступінь складності технологічного процесу виготовлення і вартість тієї енергії, що віддається ХДС. Вартість одиниці одержуваної в ХДС електроенергії можна понизити шляхом зменшення вартості ХДС, збільшення ресурсу і ККД ХДС і застосування недорогих активних речовин.

До експлуатаційних властивостей відносяться: простота обслуговування, надійність у роботі, механічна міцність, ступінь шкідливості для обслуговуючого персоналу, терміни зберігання і служби.

## 5 СВИНЦЕВО-КИСЛОТНІ АКУМУЛЯТОРИ

Дослідження способів акумуляції електричної енергії відноситься до початку розвитку електрохімії. У 1800 р. Вольта створив перше хімічне джерело струму (стовп Вольта), що стало першопочатком не тільки гальванічних елементів, але й акумуляторів. У 1801 р. Гастеро встановив появу вторинного, поляризаційного струму між платиновими (або срібними) електродами, що служили для розкладання підкисленої води, а Ріттер за допомогою цього поляризаційного струму розклав воду на її складові частини.

У 1826 р. Нобілі при анодній поляризації свинцевої пластинки від первинного джерела струму вперше спостерігав утворення на ній двоокису свинцю.

Виникнення свинцево-кислотного акумулятора пов'язане з ім'ям французького ученого Гастона Планте (1834-1889 рр.), якому в результаті досліджень процесу, при якому метали поглинають кисень, вдалося розробити вдалу конструкцію акумулятора. Акумулятор Планте складався з двох листів свинцю, розділених смужками гуми і згорнутих в спіраль. Як електроліт служив 10-відсотковий розчин сірчаної кислоти. Вивчаючи роботу запропонованого акумулятора, Планте відкрив можливість істотного збільшення ємності акумулятора за допомогою процесу, відомого нині як процес формування. Перша свинцево-кислотна акумуляторна батарея була виготовлена Планте в 1860 р.

У 1880 р. учень Планте Фор удосконалив свинцево-кислотний акумулятор шляхом нанесення на свинцеві листи оксидів свинцю у вигляді пасти, приготованої на сірчаній кислоті.

Подальший розвиток свинцево-кислотного акумулятора йшов шляхом удосконалення акумуляторів Планте і Фора. У 1896 р. Лукас запропонував проводити формування пластин не в сірчаній кислоті, а в розчинах хлоратів і перхлоратів, що дозволило скоротити тривалість процесу формування від декількох місяців до декількох днів.

У 1881 р. Фолькмар запропонував використовувати не суцільні свинцеві листи, а листи з великою кількістю отворів, які заповнювалися свинцевою пастою. Свен, а потім Селлон розробили і впровадили електродні ґрати різної форми, які добре утримували пасту.

У 1882 р. Гладстон і Трайб запропонували теорію подвійної сульфатації, основні положення якої використовуються і сьогодні при розгляді процесів у свинцево-кислотному акумуляторі.

У Росії з появою перших повідомлень про акумулятори Фолькмара в кінці 1881 р. в Мінному офіцерському класі м. Кронштадта почали проводити дослідження зі створення вітчизняного свинцево-кислотного акумулятора. Дослідження проводилися під керівництвом відомого російського електротехніка П. Ф. Іорданського. Надалі роботами зі створення і випробування вітчизняних свинцево-кислотних акумуляторів керував відомий російський електротехнік Е. П. Тверітінов.

Під керівництвом Е. П. Тверітінова були створені акумулятори типу МОК, які

за своїми електричними і експлуатаційними характеристиками перевершували кращі зразки зарубіжних фірм.

У 1884 р. батарея на базі акумуляторів типу МОК використовувалася для живлення рухомої установки першого в світі катера з електромотором.

Важливе значення в розвитку теорії свинцево-кислотного акумулятора мали дослідження російських учених: Г. Цвінського (з вимірювання ЕРС і внутрішнього опору акумулятора), П. Левицького (за визначенням ККД акумуляторів і залежності ємності від розрядного струму), а також роботи А. Г. Лозинського (з перевірки участі сірчаної кислоти в сумарній струмоутворюючій реакції акумулятора). У 1886 р. В. Н. Чиколєв опублікував монографію «Електричні акумулятори», яка є однією з перших важливих публікацій з теорії акумулятора.

Після Великої Жовтневої соціалістичної революції в країні було налагоджене виробництво акумуляторів. У 1924 р. була організована Центральна акумуляторна лабораторія, реорганізована пізніше в науково-дослідний акумуляторний інститут (1946 р.).

У 1937-1938 рр. Б. Н. Кабанов обчислив ЕРС акумулятора залежно від концентрації кислоти за вільною енергією і активністю розчинів  $H_2SO_4$ . Результати робіт дозволили остаточно затвердити класичне рівняння струмоутворюючого процесу в свинцево-кислотному акумуляторі.

За передвоєнні роки були створені нові типи акумуляторів (короткорозрядні батареї для потреб Військово-Морського Флоту, потужні свинцеві акумулятори для підводних човнів, стартерні батареї для автомобілів, радіоанодні і радіонакальні батареї і ін.). У створення нових виробів зробили значний внесок Р. В. Болкунов, А. Н. Мокєєв, З. А. Розенцвейг, Н. Р. Кузнецова, С. І. Гальперіна, А. К. Лоренц, М. А. Досоєн і багато інших. У післявоєнні роки зусилля науково-дослідних установ і промисловості були направлені на підвищення якості вітчизняних акумуляторів, збільшення питомих характеристик і терміну служби. Використання миш'яковистих сплавів і тонких пластин, широке застосування пластичних мас, впровадження ефективніших розширювачів і сепараторів дозволило вітчизняній промисловості довести питому енергію батарей до 35-40 Вт·год/кг і термін служби – до 400-500 циклів.

### **5.1 Застосування свинцево-кислотного акумулятора в сучасній техніці**

Вітчизняна промисловість випускає акумулятори різних конструкцій: з пластинами Планте, з намазними пластинами і з трубчастими (панцерними) електродами. Акумулятори з намазними пластинами виготовляються у відкритому або герметичному виконанні.

Свинцево-кислотні акумулятори широко застосовуються для живлення стаціонарних вузлів зв'язку, установок гарантованого електропостачання на електричних станціях і підстанціях, двигунів електрокарів і електронавантажувачів, стартерів на автомобільному транспорті, а також побутової і переносної апаратури.

Слід зазначити, що середньодобова втрата ємності при місячному зберіганні

на саморозряд у свинцево-кислотних акумуляторів складає 1% проти 3% у никель-залізних. Важливою перевагою свинцево-кислотних акумуляторів є можливість заряду їх великими струмами без надмірного перегріву або викидання електроліту. Якщо порівнювати свинцево-кислотний акумулятор з лужним, то вищий ККД за ємністю, а також велике значення ЕРС робить його незамінним на транспорті й у стаціонарних установках живлення.

Застосування свинцево-кальцієвих сплавів, гелевидного електроліту, а також спеціального режиму заряду дозволили створити герметичні свинцево-кислотні акумулятори, які завдяки своїй дешевизні, вищим питомим характеристикам і великим термінам служби з успіхом почали витісняти герметичні нікель-кадмієві акумулятори в системах електропостачання.

## 5.2 Пристрій свинцево-кислотного акумулятора

Свинцево-кислотний акумулятор складається з наступних основних деталей: бака 1, електродів (пластин) 2, баретки 3, сепаратора 4, кришки 5, пробки 6 (рис. 5.1). Електролітом служить розчин сірчаної кислоти щільністю 1,2-1,3 г/см<sup>3</sup>.

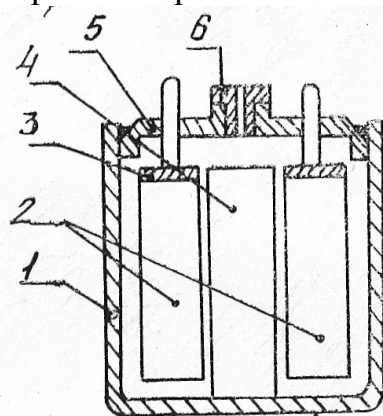


Рис. 5.1 – Конструкція свинцево-кислотного акумулятора

Акумуляторні баки (посудини) бувають скляні, ебонітові, пластмасові та дерев'яні, які викладені зсередини свинцем. Скляні баки зазвичай застосовуються в акумуляторах стаціонарного типу і в радіоанодних батареях. Скляні баки зручні в експлуатації, оскільки через стінки видно несправності електродів і осад шлаку на дні. Ебонітові баки найбільш поширені в акумуляторній техніці. Баки, виготовлені з пластмаси, нарівні з ебонітовими, набувають широкого використання в акумуляторній техніці, підвищуючи питомі характеристики акумулятора та характеристики його міцності. Дерев'яні баки застосовуються для стаціонарних акумуляторів великих габаритів. Дерев'яні баки зазвичай виготовляють із смолянистої деревної породи і просочують гарячою смолою або асфальтом. Зсередини їх викладають тонкими свинцевими листами, спаяними в місці стику.

Електродом (пластиною) називається деталь акумулятора, що містить активні речовини, на поверхні яких відбувається хімічна взаємодія цих речовин з електролітом. За конструкцією електроди поділяються на поверхневі, коробчасті,

гратчасті, трубчасті і панцирні.

У *поверхневих пластин* активна маса електрохімічним шляхом нарощується на поверхню свинцевого остову. Виготовлення їх ведеться шляхом відливання в особливих формах з чистого свинцю із вмістом РЬ не менше 99,98%. Для надання пластинам стійкості вертикальні ребра 1 скріплюють між собою горизонтальними смужками 2, що створюють поперечні ряди (рис. 5.2).

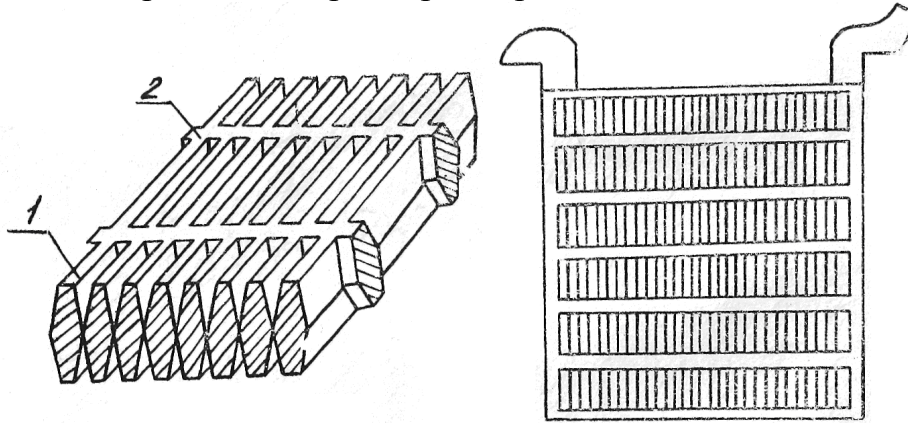


Рис. 5.2 – Поверхнева пластина із наскрізними ребрами та її розріз

Поверхневі пластини застосовуються, головним чином, в стаціонарних і електротягових акумуляторах, тобто в тих випадках, коли вага акумулятора не має вирішального значення.

У всіх свинцево-кислотних акумуляторах, в яких позитивними електродами служать поверхневі пластини, як негативні електроди завжди застосовуються *коробчасті пластини* (рис. 5.3).

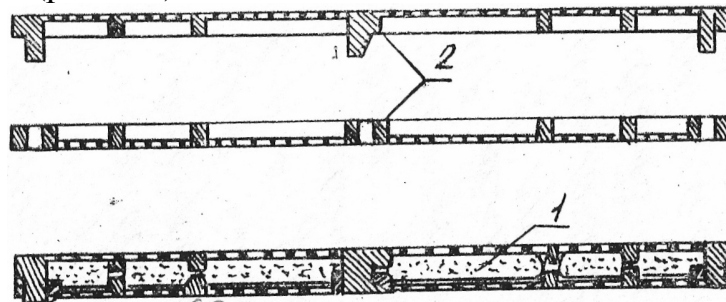


Рис. 5.3 – Розріз коробчастої пластини:  
1 – активна маса, 2 – перфоровані свинцеві листи

Коробчата пластина складається з двох половинок 2, покритих перфорованим листовим свинцем. Після намазування пастою коробчасті пластини складають і пресують. Перфорація дає можливість розчину сірчаної кислоти вільно проникати всередину пластини і перешкоджати активній масі висипатися з осередків.

Основою *гратчастих пластин* є ґрати. Ґратами називають остов намазного

електрода, що служить для підведення і розподілу струму. В осередках ґрат розташовується активна маса. Ґрати бувають однорядні (рис. 5.4) і дворядні (рис. 5.5). Дворядні ґрати, в свою чергу, поділяються на відкриті та закриті.

Акумулятори, призначені для роботи з великою щільністю струму, наприклад, стартерні, мають тонкі відкриті ґрати з осередками малих розмірів, а акумулятори для роботи з малою щільністю струму, наприклад, радіоанодні, мають однорядні ґрати з осередками великих розмірів.

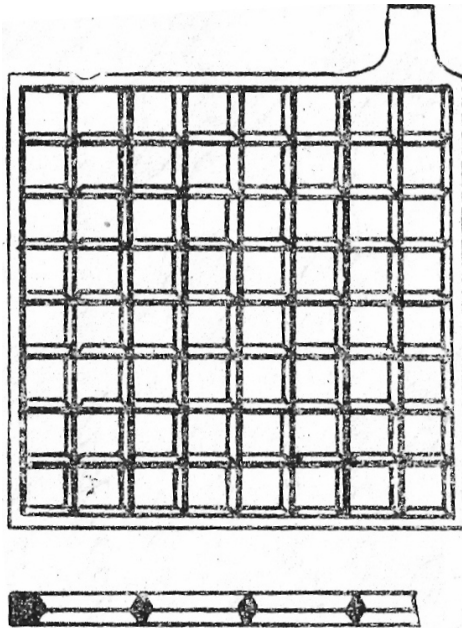


Рис. 5.4 – Однорядні ґрати

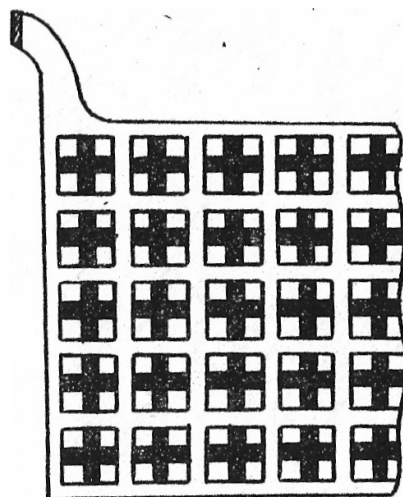


Рис. 5.5 – Дворядні ґрати

*Основою трубчастих пластин є струмовідвідні штирі, що становлять єдине ціле із рамою, яка їх сполучає (рис. 5.6). Штирьова рама відливається із свинцево-*

сурмяністого сплаву. На штиркові рами надягають або окремі перфоровані ебонітові трубки або перфоровану ебонітову пластину з напівкільцевими прорізами. Всередину трубок або в порожнини пластин набивають активну масу. Перевагою трубчастих пластин є їх високі механічна міцність і питома ємність.

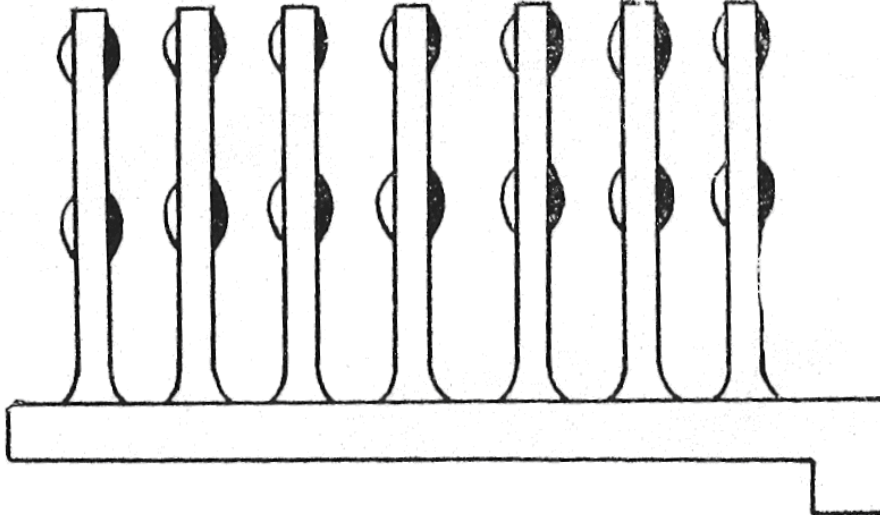


Рис. 5.6 – Штирвова рамка трубчатої пластини

Різновидом трубчастих пластин є *панцирні* пластини. У цих пластинах активна маса наноситься на ґрати, на яку потім надягають ебонітовий футляр з перфорованими стінками. На сьогодні розроблені акумулятори з панцирними пластинами, термін служби яких складає 1200-1800 циклів.

Група паралельно сполучених однойменних пластин називається комплектом. З'єднання пластин проводиться за допомогою баретки (рис. 5.7). Міст баретки є стрижнем або смужкою, до якої приварюються однойменні пластини. Від місця баретки відходить борн, що становить з ним єдине ціле. Борн служить для з'єднання провідників зовнішнього кола з комплектом пластин.

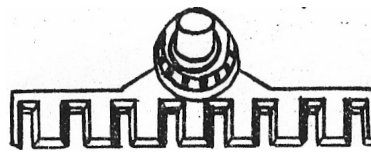


Рис. 5.7 – Баретка

*Сепаратором* (роздільником) називають ізолюючу прокладку, що розділяє позитивні та негативні пластини і зберігає електролітичну провідність. На сьогодні застосовуються наступні типи сепараторів: дерев'яні фанерки, ебонітові перфоровані та гофровані сепаратори, сепаратори з пористої гуми, сепаратори із склоповсті й інших різноманітних типів сепараторів на основі пластичних мас. Останнім часом все ширше використовуються нові матеріали для сепараторів: мікропористі маси, волокнисті матеріали, просочені нерозчинним каучуком, целюлозні плівки, склотканини і пористі матеріали на скляній основі.



*Кришки* акумуляторних баків виготовляються так само, як і посудини, тобто пресуванням сирової маси (ебоніт або пластмаса) з подальшою термічною обробкою. Кожна кришка зазвичай забезпечена трьома (п'ятьма) отворами: два (чотири) – для виведення борнів бареток і одне – для наповнення акумулятора електролітом і для виходу газів. Для кращого прикріплення кришки до стінок посудини між краями кришки й акумуляторного бака укладають прокладки з кислототривкого матеріалу і заливають мастикою, що є сумішшю нафтового бітуму з машинним маслом.

*Пробки* використовуються для закривання отвору в кришках акумуляторів. Основні вимоги, що висуваються до пробок, полягають в тому, щоб був забезпечений безперебійний випуск газів і щоб електроліт не виливався з акумуляторів при перенесенні, трясінні, великих нахилах і т.п. Розрізняють глухі та робочі пробки (рис. 5.8). Глухі пробки не забезпечені отворами для виходу газів, а робочі пробки забезпечені. Пробки виготовляють з ебоніту або фарфору. Для створення більшої герметизації в місцях зіткнення пробки з поверхнею кришки акумуляторів застосовуються гумові прокладки.

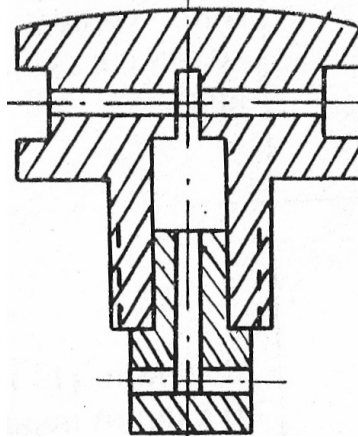


Рис. 5.8 – Робоча пробка свинцево-кислотного акумулятора

### 5.3 Принцип дії свинцево-кислотного акумулятора

В основу дії свинцево-кислотного акумулятора покладена наступна електрохімічна система:



Активною речовиною позитивного електроду є двоокис свинцю, електролітом – водний розчин сірчаної кислоти, а негативним електродом служить губчастий металевий свинець.

Внаслідок того, що на обох електродах в процесі розряду утворюється сульфат свинцю, рівняння струмоутворюючого процесу називається рівнянням подвійної сульфатації і має вигляд



З (5.28) витікає, що при розряді концентрація електроліту зменшується.

Схематично окислювально-відновна реакція може бути представлена у вигляді



реакція на позитивному електроді — у вигляді



реакція на негативному електроді — у вигляді



З рівнянь реакції (5.30) і (5.31) зрозуміло, що при розряді концентрація електроліту значно знижується у позитивного електрода, оскільки тут відбувається утворення сульфату свинцю і води

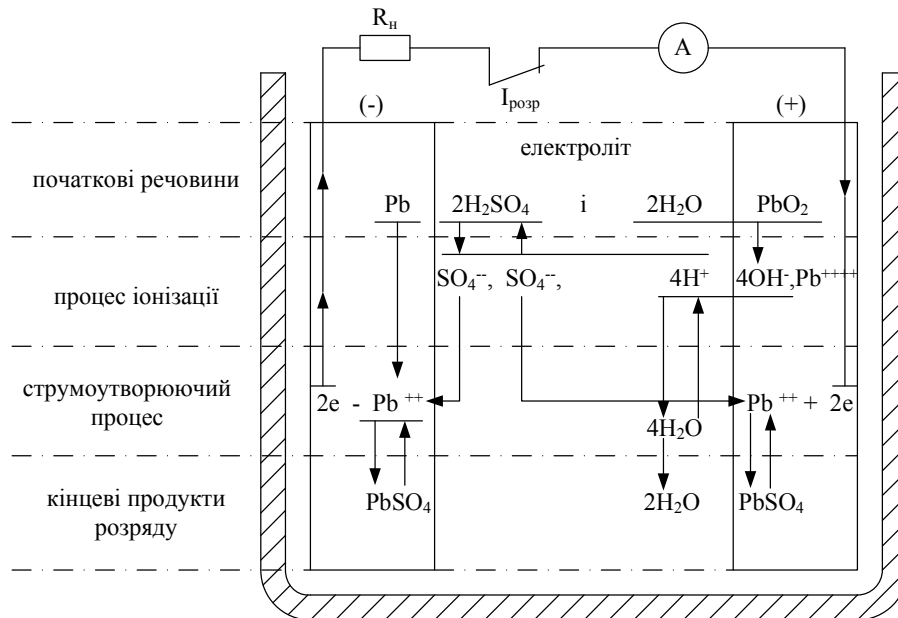
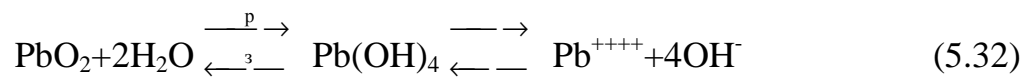


Рис. 5.9 – Схема процесу розряду свинцево-кислотного акумулятора

На рис. 5.9 представлена схема, що показує в деталях процес, що призводять до виникнення кінцевих продуктів розряду. На негативному електроді через пружність розчинення свинець виділяє свинцеві іони в розчин. Ці іони –

двовалентні і несуть по два позитивні заряди. Одночасно з відривом від поверхні електрода кожного позитивного іона свинцю сам електрод набуває двох негативних зарядів. Свинцеві іони вступають в реакцію з сульфатними іонами, що мають заряди тієї ж самої величини, але протилежні за знаками, і утворюють сульфат свинцю. Останній практично нерозчинений в електроліті і негайно ж випадає з розчину, відкладаючись на електроді.

На позитивному електроді двоокис свинцю, малорозчинний в сірчаній кислоті за звичайних умов, може при проходженні струму перейти в обмеженій кількості в розчин. Малі його кількості при з'єднанні з водою іонізуються в чотиривалентні іони свинцю й одновалентні іони гідроксиду згідно з рівнянням:



Процес отримання струму обумовлений різницями потенціалів електродів, що знаходяться в залежності, по-перше, від рівноваги потенціалів в іонних реакціях і, по-друге, від іонних концентрацій.

Іонна реакція у позитивного електрода має наступний вигляд:



Іонізація електроліту відбувається наступним чином:



Останнім ступенем в процесі розряду є з'єднання іонів свинцю і сульфату з утворенням сульфату свинцю, який відкладається на електроді:



Слід зазначити, що насправді на кожні дві молекули витраченої сірчаної кислоти утворюються чотири молекули води, але оскільки в той же час дві молекули води витрачаються, то в результаті зміна зводиться до утворення двох молекул води.

На рис. 5.10 представлена схема процесів, що відбуваються при заряді свинцево-кислотного акумулятора.

Сульфат свинцю в обох електродах переходить в розчин і іонізується. Вода також іонізується. Двовалентні іони свинцю у негативного електрода одержують по два електрони, які нейтралізують їх заряди, після чого свинець виділяється в

твердому стані. Двовалентні свинцеві іони у позитивного електрода під дією зарядного струму віддають два електрони, що переводить ці іони в чотиривалентний стан. Кожний з цих іонів може з'єднатися з двома кисневими іонами через проміжну реакцію і утворити двоокис свинцю, який виділяється на електроді. Іони сульфату, що утворилися у кожного електрода, з'єднуються з двома водневими іонами через проміжний ступінь, утворюючи біля кожного електрода сірчану кислоту.

У процесі заряду, коли основна маса сульфату свинцю перейде в первинні активні речовини  $PbO_2$  і  $Pb$ , почнеться електроліз води. При цьому на позитивному електроді буде виділятися кисень:



На негативному електроді буде виділятися водень:

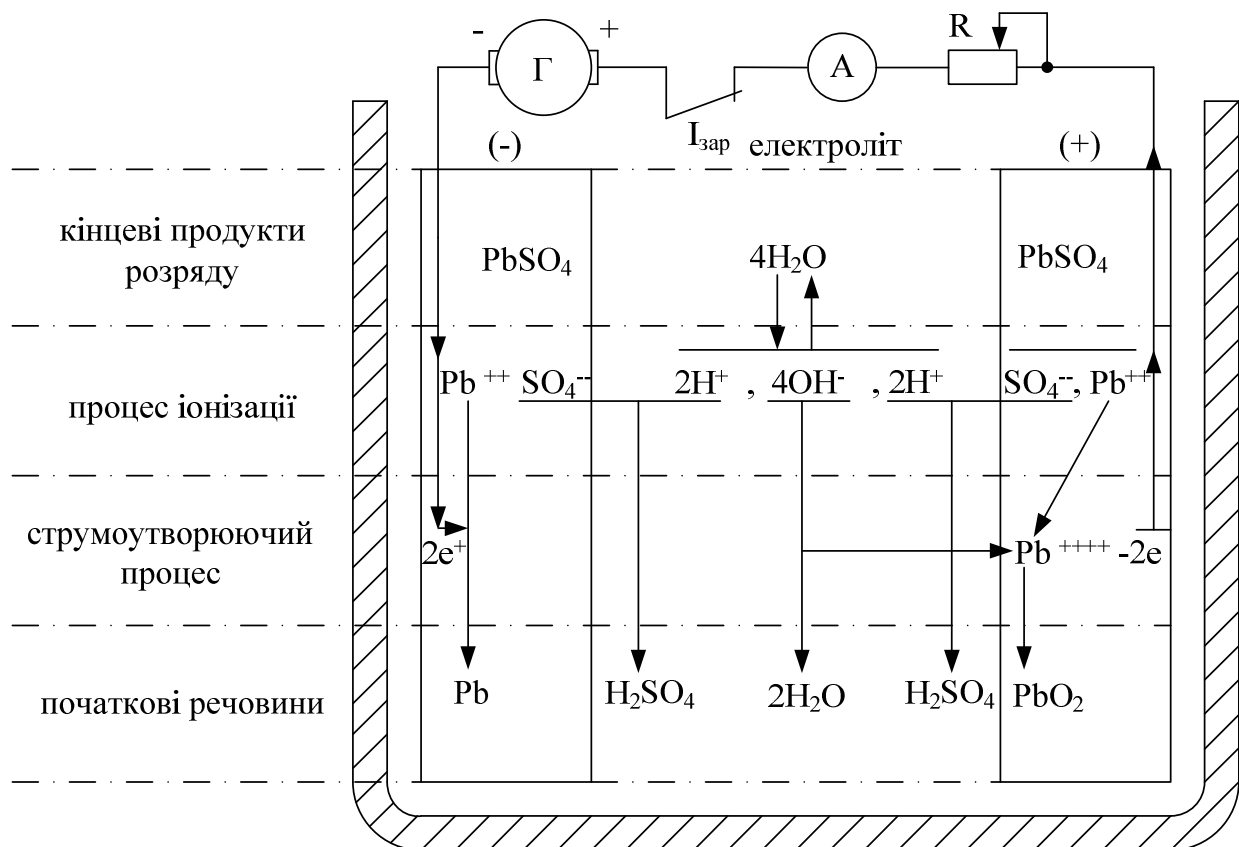


Рис. 5.10 – Схема процесу заряду свинцево-кислотного акумулятора

## 5.4 Основні характеристики свинцево-кислотного акумулятора

*Електрорушійна сила* свинцево-кислотного акумулятора залежить від температури і концентрації електроліту.

Експериментальні дані показують, що температурний коефіцієнт ЕРС невеликий і при всіх практично вживаних концентраціях сірчаної кислоти позитивний і приблизно рівний  $0,4 \cdot 10^{-3}$  В на  $1^\circ\text{C}$ .

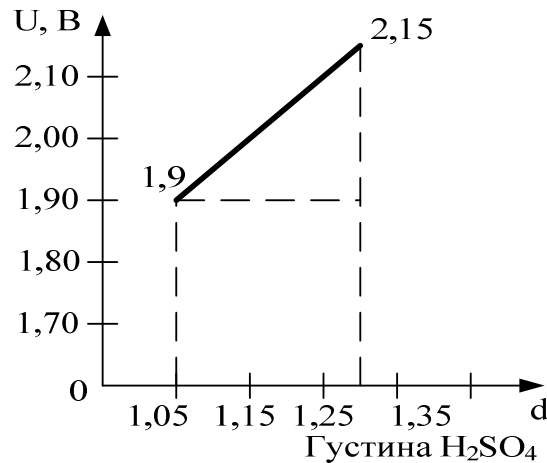


Рис. 5.11 – Залежність напруги акумулятора від густини  $\text{H}_2\text{SO}_4$

Залежність ЕРС від густини сірчаної кислоти  $d$  при коливанні її в межах  $(1,05 \div 1,3)$  В може бути виражена прямою (рис. 5.11) й емпіричним рівнянням:

$$E = 0,85 + d \quad (5.38)$$

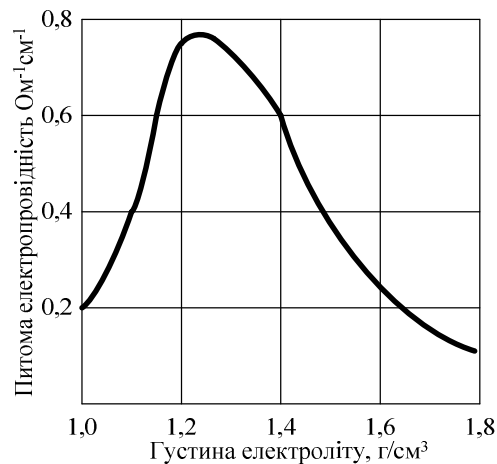


Рис. 5.12 – Залежність питомої електропровідності розчинів сірчаної кислоти від їх густини

*Внутрішній опір* свинцево-кислотного акумулятора в процесі розряду зростає, а при заряді зменшується. Пояснюється це різними значеннями питомих опорів первинних речовин і кінцевих продуктів розряду. Так, наприклад, питомий опір сульфату свинцю  $\text{PbSO}_4$  дорівнює  $10^7$  Ом·см, свинцю  $\text{Pb}$  –  $1,83 \cdot 10^{-2}$  Ом·см і

двоокису свинцю  $PbO_2 - 2,5 \cdot 10^{-1}$  Ом·см. Крім того, на опір акумулятора великий вплив чинить електропровідність електроліту. Питома провідність електроліту залежить від його концентрації  $d$  і температури (рис. 5.12). Зі збільшенням концентрації питома провідність спочатку зростає, а потім спадає, оскільки зі зростанням концентрації зменшується ступінь дисоціації. Максимум електропровідності розчину сірчаної кислоти при температурі  $+20^\circ C$ , який дорівнює  $0,74$  л/(Ом·см), відповідає питомій вазі електроліту, рівній  $1,224$  г·см<sup>3</sup>.

Величина внутрішнього опору свинцево-кислотного акумулятора невелика ( $10^{-2} \div 10^{-3}$  Ом) і залежить від конструкції та габаритів акумулятора. Особливо сильно зростає внутрішній опір акумулятора за наявності засульфатованих електродів, оскільки при утворенні крупних кристалів сульфату свинцю відбувається відставання активної маси від ґраток.

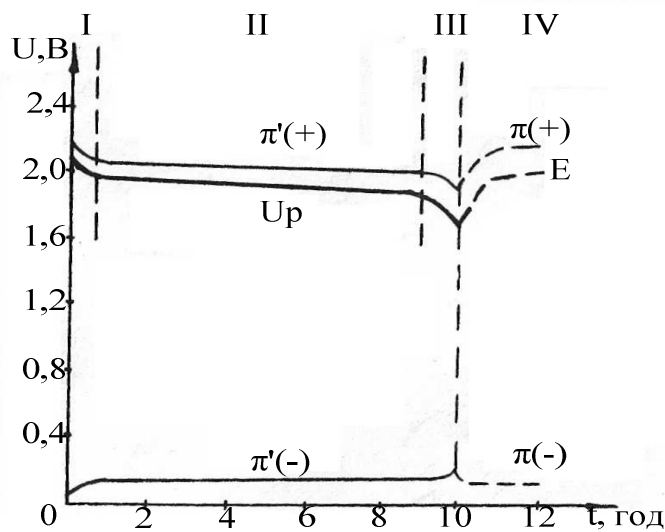


Рис. 5.13 – Графік розрядної напруги свинцево-кислотного акумулятора при розрядному струмі, який чисельно дорівнює  $0,1 Q_H$ , і температурі  $+20^\circ C$

Розглянемо *розрядну напругу*. Розряд свинцево-кислотних акумуляторів залежно від їх призначення може проводитися різними струмами. Нормальний розрядний струм, при якому гарантується номінальна ємність  $Q_H$ , часто виражається в долях цієї ємності і приймається рівним  $0,1 Q_H$ . На рис. 5.13 приведений графік розрядної напруги свинцево-кислотного акумулятора при струмі розряду, який чисельно дорівнює  $0,1 Q_H$ , і температурі електроліту, яка дорівнює  $+20^\circ C$ .

Крива розрядної напруги має чотири характерні ділянки:

- ділянка I, на якій різке падіння напруги на початку розряду пов'язане зі швидким зменшенням концентрації електроліту в порах активних речовин;
- ділянка II, на якій здійснюється повільне зменшення напруги за рахунок дифузії з міжелектродного простору більш концентрованого електроліту в пори активних мас;
- ділянка III, на якій різко знижується напруга через зменшення дифузії електроліту з міжелектродного простору унаслідок утворення сульфату свинцю і

екрануванні ним пор активної речовини;

- ділянка IV, на якій після припинення розряду відбувається відновлення ЕРС і потенціалів електродів.

З урахуванням (4.2)-(4.4), (5.30), (5.31) потенціали електродів під час розряду акумулятора при температурі 17°C можна визначити за рівняннями:

$$\pi_{(+)} = \pi_0 + \frac{0,058}{2} \lg [\text{H}^+]^4 [\text{SO}_4^{--}]; \quad (5.39)$$

$$\pi_{(-)} = \pi_0 + \frac{0,058}{2} \lg \frac{1}{[\text{SO}_4^{--}]} \quad (5.40)$$

З (5.39) і (5.40) зрозуміло, що потенціали обох електродів, а отже, і ЕРС мають логарифмічну залежність від концентрації сірчаної кислоти. При розряді акумулятора концентрація електроліту зменшується: потенціал позитивного електрода знижується, а потенціал негативного – зростає.

Зі збільшенням розрядного струму крива розрядної напруги акумулятора зміщується в бік менших значень напруг.

Розглянемо *зарядну напругу*. На рис. 5.14 приведений графік зарядної напруги при струмі заряду, який чисельно дорівнює 0,1 Q<sub>n</sub>.

Зарядна крива має чотири характерні ділянки:

- ділянка I, на якій на початку заряду відбувається різке збільшення зарядної напруги внаслідок швидкого збільшення концентрації електроліту в порах активних мас;

- ділянка II, на якій зарядна напруга збільшується поволі, оскільки концентрована сірчана кислота, що утворюється в порах активних речовин, дифундує в міжелектродний простір;

- ділянка III, на якій підвищення зарядної напруги в кінці заряду обумовлене збільшенням концентрації електроліту в порах активних речовин, оскільки утруднена дифузія утвореної сірчаної кислоти з глибини електрода в міжелектродний простір;

- ділянка IV, на якій після стрибка зарядна напруга залишається постійною і дорівнює 2,6-2,7 В. У цей період відбувається електроліз води.

Після стрибка потенціалів до кінця заряду на позитивному електроді виділяється кисень, а на негативному – водень.

Ознаками закінчення заряду свинцево-кислотного акумулятора є рясне газовиділення на обох електродах, підйом і постійність напруги (до 2,6 В) і сталість густини електроліту. Акумулятор вважається зарядженим при одночасній наявності всіх трьох ознак.

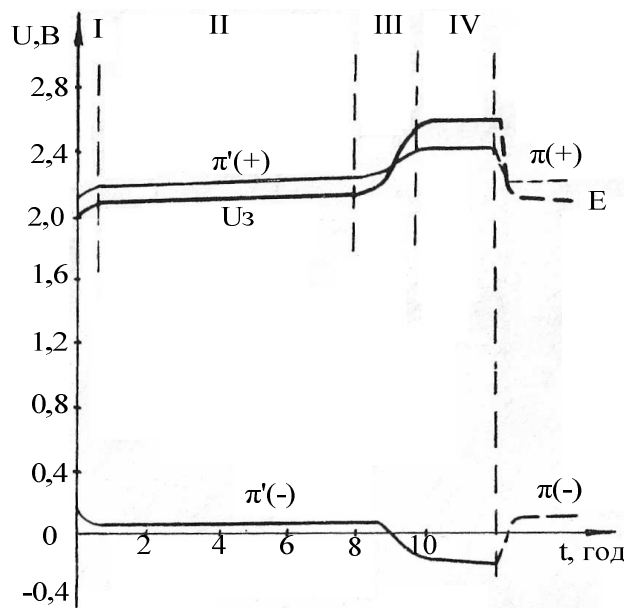


Рис. 5.14 – Графік зарядної напруги свинцево-кислотного акумулятора при постійному струмі заряду, який чисельно дорівнює  $0,1 Q_H$

Ємність свинцево-кислотних акумуляторів, як і всіх інших хімічних джерел струму, визначається кількістю активних мас, що вступають у взаємодію при розряді акумулятора до певного кінцевого значення напруги.

До кінця розряду велика частина (50-80%) активної маси залишається невикористаною. Припинення розряду обумовлене поляризаційними явищами, які у багатьох випадках пов'язані зі збідненням електроліту в порах електрода і недостатньою швидкістю дифузії концентрованого електроліту з міжелектродного простору. При малій густині струму, коли дифузія не робить істотного впливу, припинення розряду може з'явитися як наслідок пасивування електродів.

Величина розрядної ємності залежить від конструкції електродів, величини розрядного струму, концентрації та температури електроліту.

Помітний вплив на місткість акумулятора роблять товщина і пористість електрода. Акумулятор з тонкими електродами має вищу ємність, ніж акумулятор таких же розмірів, але з товстими електродами. У тонких електродах дифузія електроліту в активній масі, що знаходиться в глибині електрода, протікає з більшою швидкістю.

Залежність ємності від товщини електрода при розряді акумулятора однією і тією ж величиною розрядного струму можна виразити емпіричним рівнянням:

$$Q = \frac{\mu}{1 + \alpha \ell I}, \quad (5.41)$$

де  $\mu$ ,  $\alpha$  – сталі, що залежать від типу акумулятора;

$\ell$  – товщина електрода, мм.

Дуже тонкі електроди (1-2 мм) застосовуються, коли потрібно забезпечити



високі значення питомої ємності, проте такі електроди володіють меншою міцністю і швидко руйнуються.

Пористість електрода є відношенням об'єму пор до загального об'єму маси. Вона виражається рівнянням

$$\Pi = \left(1 - \frac{\beta_1}{\beta_2}\right) 100\%, \quad (5.42)$$

де  $\beta_1$  і  $\beta_2$  – густина маси, що здається і дійсна відповідно.

Збільшення пористості полегшує доступ електроліту всередину електрода, при цьому коефіцієнт використання активної маси зростає. З іншого боку, збільшення пористості призводить до зменшення активної маси в одиниці об'єму і знижує міцність електрода. Зазвичай обмежуються застосуванням електродів з пористістю близько 50%.

Збільшення інтенсивності розряду акумулятора призводить до зниження ємності. З підвищенням густини струму зростає концентраційна поляризація. На напругу акумулятора, як вже згадувалося, робить вплив пасивування електродів. У цьому випадку створюються умови для утворення дрібних кристалів сульфату свинцю, що покривають частинки активної маси щільним шаром.

Існує декілька емпіричних рівнянь, що виражають залежність між величиною розрядного струму і часом розряду.

Найбільшого поширення набуло рівняння Пейкерта:

$$I_p^n t_p = c, \quad (5.43)$$

де  $I_p$ ,  $t_p$  — струм і час розряду;

$n$  — стала, характерна для типу акумуляторів, що розглядається;

$c$  — стала, характерна для цього акумулятора.

Сталі  $n$  і  $c$  можуть бути визначені аналітично з двох різних розрядних режимів, для яких відомі  $I_{1p}$  і  $t_{1p}$ ;  $I_{2p}$  і  $t_{2p}$ :

$$I_{1p}^n t_{1p} = I_{2p}^n t_{2p} = c \quad (5.44)$$

Прологарифмувавши це рівняння, одержимо:

$$n \lg I_{1p} + \lg t_{1p} = n \lg I_{2p} + \lg t_{2p},$$

звідки

$$n = (\lg t_{2p} - \lg t_{1p}) / (\lg I_{1p} - \lg I_{2p}) \quad (5.45)$$

Залежно від типу свинцево-кислотних акумуляторів величина  $n$  знаходиться в межах 1,2-1,3. Знаючи  $n$  і  $c$ , можна обчислити ємність цього типу акумулятора при будь-якій величині розрядного струму за формулою

$$Q_1 = cI^{1-n}$$

Домінуючий вплив на структуру сульфату свинцю робить концентрація електроліту. В електролітах великої густини сульфат свинцю виходить у вигляді дрібних кристалів, які утворюють щільний, пасивуючий шар, який перешкоджає використанню активної маси в товщі електрода. У слабких розчинах кристали сульфату свинцю виходять крупнішими та пористішими і менше пасивують активну масу. Залежно від типу акумулятора й умов експлуатації густина електроліту в зарядженому акумуляторі підтримується в межах (1,2-1,3) г/см<sup>3</sup>.

Із підвищенням температури ємність акумулятора зростає. Одночасно прискорюються небажані реакції, що призводять до саморозряду. Верхньою межею для роботи свинцево-кислотного акумулятора є температура 40-50°C. При температурі, нижче 0°C, ємність помітно знижується. В цьому випадку зростає внутрішній опір, посилюється поляризація і створюються умови для утворення дрібнокристалічних щільних опадів сульфату свинцю, що викликають пасивування негативного електрода. Унаслідок утрудненості дифузії концентрація електроліту в порах активної маси знижується і при температурі, нижче за 0°C, можливе замерзання розбавленого електроліту.

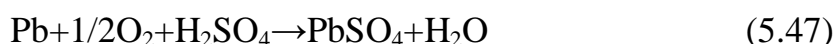
*Віддача* ємності свинцево-кислотного акумулятора залежить від умов проведення заряду і розряду. Кількість електрики і енергії, що витрачається при заряді акумулятора, зважаючи на безповоротність його роботи, завжди більше за одержане при розряді. При перезарядках віддача зменшується. При розрахунках віддачу за ємністю приймають такою, яка дорівнює 85%, за напругою – 80% і за енергією – 75%. Втрата деякої кількості електрики обумовлена, головним чином, протіканням реакції розкладання води в кінці заряду.

Ємність зарядженого акумулятора при розімкненому зовнішньому колі зменшується приблизно на 0,5-2% на добу. Це явище пояснюється *саморозрядом*.

Саморозряд негативного електрода відбувається з двох причин: через розчинення свинцю в сірчаній кислоті



і окислення його киснем



Ці реакції прискорюються при підвищенні температури, використанні більш концентрованої кислоти, а також у присутності домішок. Небажаними домішками, що створюють шкідливі короткозамкнуті пари, є: платина, золото, нікель, кобальт, срібло, мідь та ін.

Саморозряд позитивного електрода менше негативного, оскільки двоокис свинцю PbO<sub>2</sub> практично не розчиняється в сірчаній кислоті. Позитивний електрод

втрачає ємність за рахунок дії короткозамкнутих елементів  $PbO_2|H_2SO_4|Pb$ ,  $Sb$  з утворенням сульфату свинцю, розчиненням сурми і виділенням кисню. Перетворення свинцю в сульфат свинцю призводить до поступового руйнування ґраток електрода.

Крім того, саморозряд може бути викликаний розшаруванням електроліту. Розшарування електроліту відбувається, наприклад, при заряді акумуляторів великих розмірів (стаціонарні акумулятори установок гарантованого електроживлення). При цьому концентрований електроліт, що утворюється, поступово стікає уздовж електрода, внаслідок чого у верхніх шарах виходить електроліт менш щільний, ніж у нижніх. Отже, у верхній частині електрода відбуватиметься утворення наростів губчастого свинцю, а в нижній – утворення сульфату свинцю.

На зменшення ємності свинцево-кислотного акумулятора робить вплив також кисень, що знаходиться в електроліті. У процесі експлуатації акумулятора необхідно звертати увагу на неприпустимість оголення електродів електролітом, а також зберігання акумулятора з відкритими пробками.

З перебігом *терміну служби* ємність свинцево-кислотного акумулятора не залишається постійною. Спочатку вона, звичайно, дещо зростає, доходючи до максимуму, що перевищує номінальну ємність на 10-20%, а потім знижується. Зростання ємності пояснюється глибшим формуванням активних мас з перебігом циклів, а падіння – різними необоротними процесами.

Термін служби будь-якого акумулятора залежить від умов експлуатації. Найбільш довговічні стаціонарні акумулятори. При уважному догляді коробчасті пластини стаціонарних акумуляторів працюють 15-20 років, а поверхневі – 15 років. Тягові акумулятори з панцирними позитивними пластинами в жорстких умовах експлуатації служать протягом 5-6 років. Акумулятори з ґратчастими пластинами витримують 300-400 циклів заряд-розряд. Термін служби акумуляторів із ґратчастими пластинами, як правило, обмежується терміном служби позитивного електроду. Процес руйнування активної маси, звичайно, починається з розм'якшення поверхневого шару. При цьому зв'язок між частинками порушується, шар розріджується й сповзає з поверхні електрода. Прискоренню руйнування позитивного електроду сприяють розряди великими струмами, знижена температура і підвищена концентрація електроліту.

Крім того, на термін служби акумулятора впливає корозія ґраток. Наявність в електроліті органічних речовин збільшує корозійне руйнування ґраток. Додаток солей молібдену й особливо кобальту зменшує корозію ґраток. Кобальт одночасно знижує кінцеву зарядну напругу на (0,2÷0,3) В.

## 6. ЕКСПЛУАТАЦІЯ СВИНЦЕВО-КИСЛОТНОГО АКУМУЛЯТОРА

### 6.1 Приведення в дію

У СЕП знайшли широке застосування стаціонарні та стартерні свинцево-кислотні (СК) акумулятори.

Вітчизняна промисловість випускає пластини (електроди) для стаціонарних СК акумуляторів не повністю відформованими. Для приведення пластин в робочий стан після їх монтажу, заливки електроліту в бак, просочення електролітом пластин і з'єднання акумуляторів в батарею проводять формувальний заряд, що є тривалим зарядом постійним струмом. При формувальному заряді в акумуляторі значно витрачається електроліт на хімічні реакції, що протікають на пластинах. Для підтримки потрібного рівня протягом формувального заряду необхідно систематично доливати електроліт. Рівень електроліту повинен підтримуватися на 10-15 мм вище за рівень верхніх кромek пластин. Під час проведення формувального заряду протягом перших 25 годин не допускається відключення струму розряду, оскільки це може призвести до вифарбовування активної маси і зниження ємності акумулятора. Приміщення, де проводиться формувальний заряд, повинно бути забезпечено надійною вентиляцією.

Після 25 годин безперервного заряду батарею вимикають від зарядного агрегату. Через 1 годину батарею знову вмикають на заряд струмом, яким проводився формувальний заряд, і їй повідомляється номінальна ємність. Потім 1 година спокою і знову – заряд. Це триває доти, поки батарея не одержить 9-кратну ємність. Температура електроліту під час формувального заряду не повинна перевищувати +40°C.

Після закінчення формувального заряду перед постановкою на експлуатацію акумуляторна батарея піддається контрольному розряду. Контрольний розряд, звичайно, виконується струмом при 10-годинному режимі. Розряд припиняється, як тільки напруга виявиться нижчою за 1,8 В хоч би на одному з акумуляторів. Фактичну ємність батареї, визначену за формулою:

$$Q_{\text{фак}} = I_p t_p,$$

порівнюють з номінальною при 10-годинному режимі розряду цього типу акумулятора. Якщо одержана при контрольному розряді фактична ємність дорівнює номінальній або більша за неї, батарея приймається в експлуатацію. При контрольному розряді визначають віддачу за ємністю, за енергією, заміряють опір ізоляції.

Стартерні СК акумулятори випускаються заводами-виробниками з сухозарядженими пластинами.

Для приведення в дію сухозаряджених акумуляторів необхідно здійснити:

- заливку електролітом, густина якого вибирається залежно від району експлуатації батареї. Так, наприклад, для центральних районів з температурою взимку до -30°C густина електроліту, що заливається, дорівнює 1,250 г/см<sup>3</sup> при

температурі +15°C;

- просочення електролітом пор активних речовин і сепараторів протягом 3 годин;

- заряд батареї струмом, який дорівнює  $0,1 Q_n$  до настання явних ознак закінчення заряду (рясне газовиділення, постійність напруги і густини електроліту протягом трьох годин).

У практиці експлуатації необхідно суворо виконувати вимоги технічної документації з дотриманням заходів безпеки при роботі з батареєю.

Експлуатація СК акумуляторів здійснюється відповідно до вимог Інструкції з експлуатації для кожного конкретного типу СК батарей.

## **6.2 Невідкладні та поточні ремонти акумуляторів**

У процесі експлуатації виникає необхідність у ремонтах або виправленнях окремих акумуляторів.

До випадків невідкладних ремонтів відносять значний витік електроліту з дерев'яних баків, руйнування скляних посудин, переполюсування окремих елементів, короткі замикання в елементах.

У ряді випадків виправлення дефектів, виявлених у батареї, можна відкласти до більш слушного за умовами експлуатації часу. До таких робіт відносяться: відкачування шламу, усунення шкідливих домішок з електроліту, виправлення відстаючих елементів, виправлення деформації стелажів, заміна сепарації в окремих елементах.

### **6.2.1 Ремонт і заміна акумуляторних посудин**

На випадок ремонту або заміни акумуляторних посудин на батареї повинні бути перемички. При виявленні великої течі з дерев'яного бака або руйнування скляної посудини навантаження повинне бути негайно переведене на зарядний агрегат. Хвости пластин обох полярностей дефектного елемента відрізаються до сполучних смуг. Ставляться перемички, і навантаження переводиться на батарею.

При неможливості переведення навантаження на зарядний агрегат допускається шунтування дефектного елемента на час вирізки пластин опором 0,25-1,00 Ом. Опір повинен бути розрахований на проходження нормального струму навантаження. Після вирізки пластин приєднуються мідні перемички, і лише після цього знімається опір (рис. 6.1).

Вирізані пластини виймають з елемента й окремо за полярностями підвішують у дерев'яному баку або скляній посудині з електролітом або дистильованою водою.

Якщо в дефектному баку або посудині залишився електроліт, він зливається в бутель. Дефектний бак або скляну посудину видаляють. Розлитий електроліт збирають сухими ошурками. Стелажі, ізолятори і прокладки нейтралізують содою, промивають водою і насухо витирають. Встановлюється запасний дерев'яний бак

або скляна посудина. Підвішуються пластини, встановлюється нова сепарація і заливається електроліт питомої ваги 1,18. Навантаження переводиться на зарядний агрегат, знімаються перемички, й елемент упаюється в батарею (див. нижче п. «Пайка пластин»).

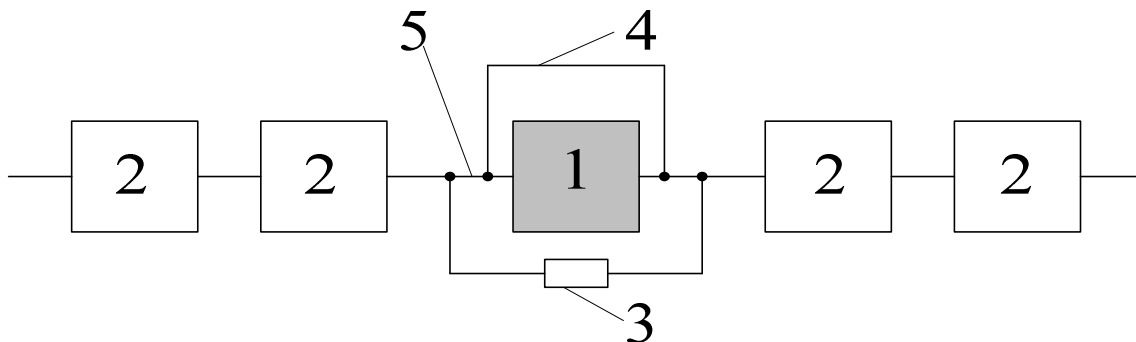


Рис. 6.1 – Шунтування дефектного елемента

1 — дефектний елемент; 2 — справні елементи; 3 — паралельно включений опір 0,25—1,0 Ом; 4 — мідна перемичка; 5 — з'єднувальна полоса

Якщо перевід навантаження на зарядний агрегат утруднений, то перед упаюванням елемента перемички замінюють опором 0,25-1,00 Ом, не перериваючи ланцюги батареї. Упаяний елемент буде менш заряджений, ніж решта елементів батареї. Його необхідно зарядити (див. п. «Виправлення відстаючих елементів»).

З дефектного дерев'яного бака витягується свинцеве обкладання і оглядається. Якщо при огляді буде виявлено, що обкладання замість нормального темно-сірого має темно-коричневий колір, обкладання потрібно замінювати на нове. Таке забарвлення свідчить про з'єднання обкладання через шлам з позитивними пластинами. Свинець при цьому формується, на його поверхні утворюється двоокис свинцю і міцність обкладання знижується. При тривалому формуванні все обкладання покривається масовими виразками наскрізних отворів.

Якщо колір обкладання нормальний, воно за допомогою лупи уважно оглядається. Отвори і підозрілі місця виділяють крейдою, потім ретельно пропаюють. Після цього обкладання заповнюється електролітом і протягом 24 годин перевіряється на відсутність течі. Дерев'яний бак промивають розчином соди, потім водою і просушують. Обкладання закладається в бак, і бак ставиться в резерв.

### 6.2.2 Виправлення переполюсованих елементів

При виявленні переполюсованого елемента він шунтується опором 0,25-1,00 Ом. Потім сполучна смуга з одного боку розрізається уздовж, у проріз закладається смужка пропарафіненого електрокартону (рис.6.2). Не розриваючи ланцюги батареї, опір замінюють мідними перемичками. Переполюсований елемент виправляється серією тренувальних заряд-розрядів (схема включення показана на рис. 6.3).

Переполюсований елемент має зворотну напругу і для його виправлення

необхідно переформувати пластини, що є тривалим процесом. Спочатку елемент розряджають невеликим струмом до напруги 1,8 В. Потім йому дається заряд нормальним струмом. Після закінчення заряду елемент розряджають струмом 10-годинного режиму на 50% ємності і повторно заряджають. Після доведення ємності виправленого елемента до нормальної джерело зарядного струму і розрядний опір відключають. Перемички замінюють, не розриваючи ланцюга батареї, шунтуючим опором, відновлюють розрізаючу сполучну смугу і знімають шунтуючий опір.

Для батарей, що працюють за циклом заряд-розряд, бажано включати виправлений елемент перед зарядом.

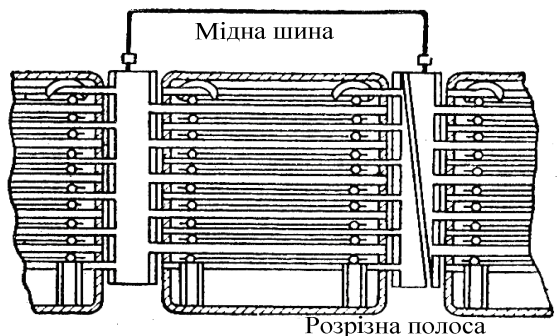


Рис. 6.2 – Виключення елемента з батареї

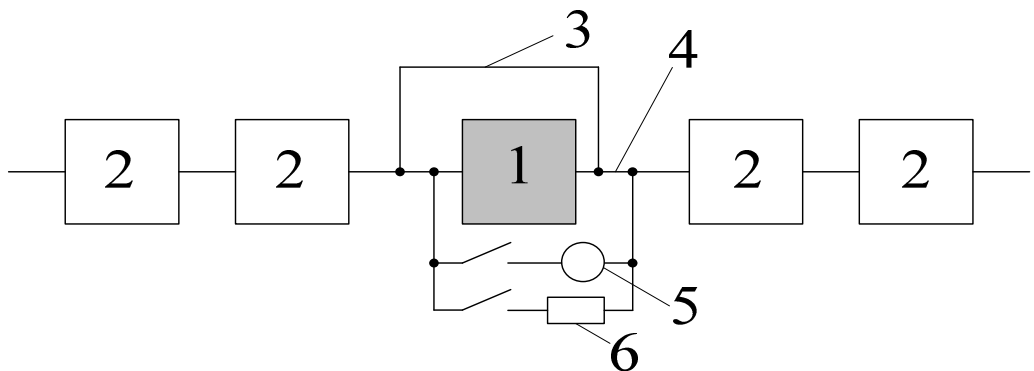


Рис. 6.3 – Схема заряду переполюсованого елемента

1 — переполюсований елемент; 2 — здорові елементи; 3 — перемичка; 4 — сполучні смуги; 5 — джерело зарядного струму; 6 — розрядний опір

### 6.2.3 Усунення коротких замикань в елементах

Для знаходження місць коротких замикань в акумуляторах у скляних посудинах проводять ретельний огляд з просвічуванням переносною лампою. При цьому перевіряється, чи скрізь вільні проміжки між пластинами, чи не покрита поверхня сепараторів активною масою, що сповзла, чи немає ниток паяльного свинцю, положення свинцевих пружин, наявність покороблених пластин та ін.

У малих акумуляторах зі скляною сепарацією перевіряється вертикальність установки скляних трубок і відсутність на них відкладень, що мають провідність.

Якщо огляд не дав результатів, а ознаки короткого замикання в наявності, елемент перевіряється компасом.

В акумуляторах у керамічних посудинах або дерев'яних баках огляд пластин неможливий. У таких елементах пошуки місць коротких замикань починають з перевірки наявності замикань пластин різних полярностей через шлам. При короткому замиканні через шлам напруга між позитивними пластинами й обкладанням і напруга між негативними пластинами і обкладанням близькі до нуля.

В акумуляторах в керамічних посудинах косинцем (рос. – угольником) перевіряється рівень шламу. Якщо замикання через шлам не виявлено, елемент перевіряється компасом.

Для визначення короткозамкнених пластин слід користуватися компасом у пластмасовому футлярі. Компас по черзі розташовують над вушками пластин однієї полярності (рис. 6.4). При переході від вушка однієї пластини до вушка іншої, що не має короткого замикання, істотного відхилення стрілки не буде. Якщо стрілка стрибне або значно відхилиться при переході, це свідчить про наявність короткого замикання. Для уточнення місця короткого замикання проходять компасом по хвостах пластин та іншої полярності. В елементі може бути декілька місць короткого замикання, тому перевіряють всі пластини.

Для усунення коротких замикань в акумуляторах із фанерною сепарацією виймають свинцеві пружини, загостреною дощечкою злегка розсовують пластини і витягують сепарацію. Ебонітовою або скляною паличкою прочищають проміжки між пластинами. Якщо сепаратори зношені, їх замінюють повністю, при хорошому стані сепараторів замінюють тільки пошкоджені та підозрілі. При виявленні викривлення позитивних пластин необхідно в місцях, де позитивна пластина тисне на сусідню негативну, прокласти додатково шматок вилуженої шпони. Волокна цього шматка шпони повинні бути направлені вертикально.

При значному викривленні дефектна пластина вирізається і виправляється між двома гладко виструганими дошками. Після правки пластина упаюється на місце.

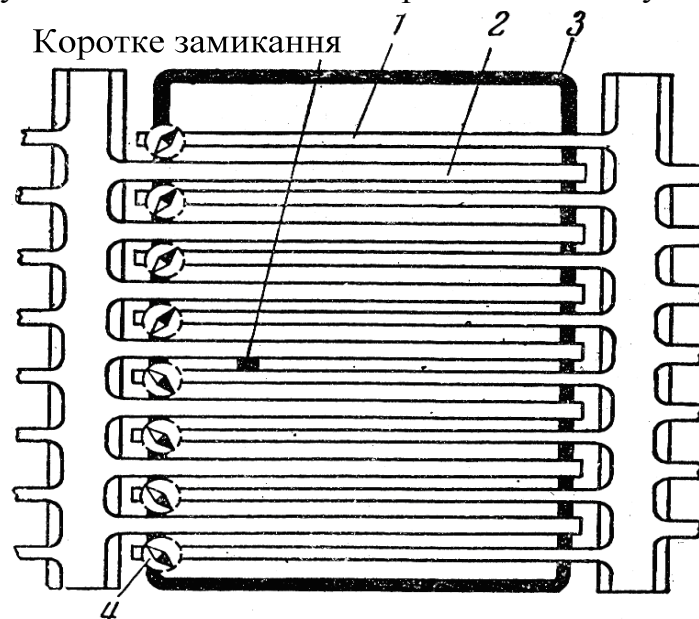


Рис. 6.4 – Визначення місця короткого замикання за допомогою компаса:



1 — негативна пластина; 2 — позитивна пластина; 3 — посуд; 4 — компас

Зібраний елемент повторно перевіряють компасом. Якщо коротке замикання ліквідувалося, елемент підзаряджають (див. п. «Виправлення відстаючих елементів»).

Якщо коротке замикання залишилося, елемент вирізають з батареї, розбирають, ретельно досліджують ізоляцію, виправляють пластини. Збирається елемент на повністю новій сепарації та підзаряджається. В акумуляторах зі скляною сепарацією виймають і очищують скляні трубки. При викривленні пластин ставлять з опуклого боку пластини, що покоровилася, додаткові скляні трубки. При неможливості установлення додаткових трубок підвищують у цьому проміжку фанерного сепаратора.

При короткому замиканні через шлам останній відкачують (див. п. «Відкачування шламу») і підзаряджають елемент.

#### **6.2.4 Виправлення викривлених пластин**

До викривлення в основному схильні позитивні пластини. Їх правку обов'язково проводять в зарядженому стані. У зарядженому стані пластини м'якше і легше піддаються правці. Тому в батареях, що працюють в циклі заряд-розряд, пластини вирізають в кінці заряду. У батареях, що працюють на постійному підзаряді, пластини завжди в зарядженому стані, їх можна вирізати у будь-який час.

Вирізані пластини обмивають водою і розміщують між двома гладко виструганими дошками твердої породи (береза, бук, дуб). На верхню дошку кладуть вантаж, що збільшується у міру виправлення пластин. Правити пластини ударами молотка по пластині або покриваючій дошці з метою уникнення вифарбовування активної маси не дозволяється. Пластини, які довго працюють, важко піддаються правці та часто ламаються. Тому в елементах з тривало працюючими пластинами потрібно шляхом додаткової ізоляції запобігати коротким замиканням і забезпечити можливість роботи елемента до ремонту із зміною пластин. Якщо це не вдається, потрібно в цьому елементі повністю замінити позитивні пластини і всю сепарацію. При залишенні старих негативних пластин треба надати перевагу установці позитивних пластин темного формування.

В акумуляторах С-5 (СК-5), С-8 (СК-8) і С-12 (СК-12) викривлення пластин може викликати розрив посудини. Тому батареї, зібрані з цих акумуляторів, потрібно систематично перевіряти, не допускаючи викривлення пластин.

#### **6.2.5 Ліквідація сульфатації пластин**

Для десульфатації пластин необхідно розчинити в електроліті кристали сульфату, що утворилися на поверхні пластин і в порах активної маси. Це досягається тривалим зарядом невеликим струмом.

Якщо сульфатація не дуже далеко зайшла, рекомендується наступний спосіб

десульфатації: дефектний елемент шунтується опором, сполучна смуга з одного боку елемента розрізається і до нього підключаються джерело зарядного струму і розрядний опір (рис. 6.3). Елемент доливається дистильованою водою і ставиться під заряд нормальним струмом. Після досягнення напруги 2,35-2,4 В на елемент і початку помітного газовиділення заряд припиняють на 30-40 хв. Це робиться для того, щоб перед другою стадією заряду газу встигли вийти з пор пластин. Після цього заряд продовжують струмом 0,5 А на позитивну пластину И-1, струмом 1 А на пластину И-2 і струмом 2 А на И-4.

Ознаками закінчення десульфатації є придбання пластинами нормального кольору, незмінність питомої ваги електроліту протягом 2 годин, незмінності напруги і сильного рівномірного газовиділення. Якщо питома вага електроліту не досягла 1,20-1,21, додаванням міцної акумуляторної кислоти доводять його до цієї величини. Включення елемента в батарею, що працює по циклу заряд-розряд, проводиться в кінці заряду, в батарею, що працює на постійному підзаряді, - в будь-який слушний для врізання час.

У важких випадках запущеної сульфатації застосовується заряд в дистильованій воді. Дефектний елемент вирізають з батареї за схемою (рис. 6.3) і розряджають до напруги 1,8 В. Потім з нього видаляють електроліт, заповнюють дистильованою водою і на 1 годину залишають у спокої. Після цього елемент ставиться на заряд таким струмом, щоб напруга не перевищувала 2,3 В. У міру розчинення сульфату в електроліті питома вага електроліту буде підвищуватися, і разом з цим автоматично буде підвищуватися струм заряду.

Після досягнення питомої ваги електроліту 1,12 встановлюють струм заряду, який дорівнює 0,5 А на позитивну пластину И-1, 1 А на пластину И-2 і 2 А на пластину И-4. Заряд ведеться до отримання незмінної питомої ваги електроліту і сильного рівномірного газовиділення. Цим же струмом елемент протягом 1-2 годин розряджають.

Потім заряджають до досягнення постійності питомої ваги електроліту і величини напруги і знову частково розряджають. Такий режим витримується, поки пластини не набудуть нормального кольору. Питому вагу електроліту доводять до 1,20-1,21 і заряджають нормальним струмом протягом 30 хв.

### **6.2.6 Відкачування шламу**

Необхідність у відкачуванні шламу з акумуляторів в скляних посудинах визначається оглядом. В акумуляторах у керамічних судинах і дерев'яних баках рівень шламу визначається вимірюванням. Вимірювання рівня шламу проводиться косинцем (рис. 6.5) завдовжки 600 мм, провареним в парафіні. Косинець виготовлений з березової палички діаметром 8 мм. Для вимірювання виймають середній сепаратор і піднімають три-чотири сепаратори поряд. У простір, що звільнився, опускається косинець (рис. 6.6).

При відкачуванні шламу одночасно видаляється й електроліт. Пластини

оголяються. Заряджені негативні пластини на повітрі розігріваються і можуть втратити ємність. Тому рекомендується перед відкачуванням шламу розрядити акумулятори до напруги 1,8 В, а саме відкачування проводити максимально швидко.

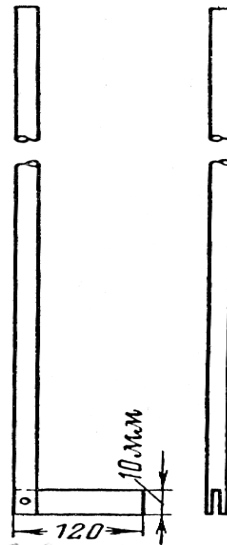


Рис. 6.5 – Дерев'яний косинець для вимірювання рівня шламу

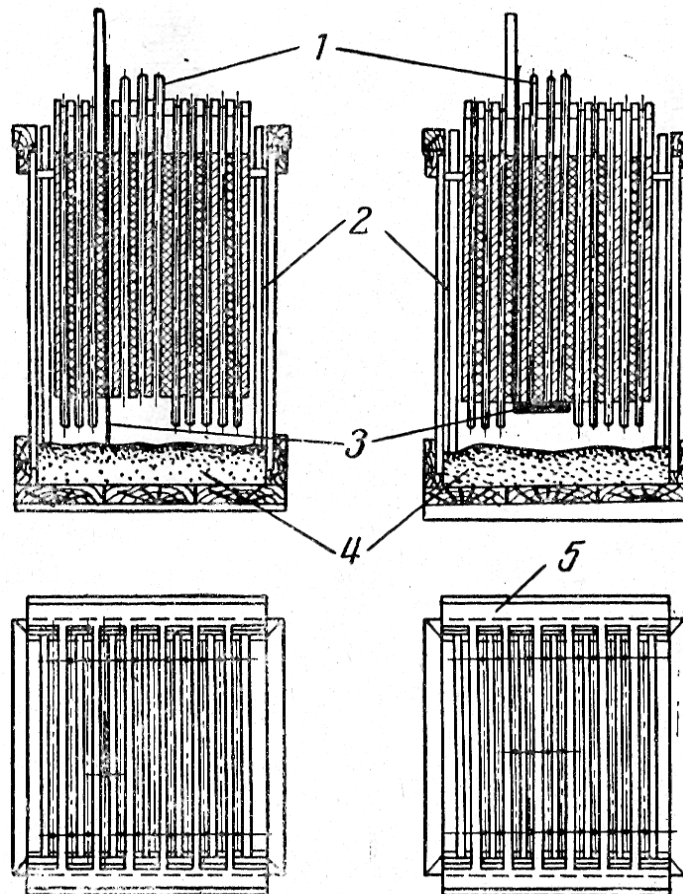


Рис. 6.6 – Перевірка рівня шламу в акумуляторах в дерев'яних або керамічних баках: 1 – фанерний сепаратор; 2 – дерев'яний ящик; 3 – дерев'яний косинець; 4 – шлам; 5 – сполучна смуга

Відкачування шламу найзручніше проводити за допомогою вакуум-насосу або повітродувки. Для цього береться широкогорлий скляний бутель, крізь пробку якого пропущені дві скляні трубки діаметром 12-15 мм. До довшої трубки, що доходить приблизно до половини бутля, приєднується гумовий шланг, що опускається в елемент.

З акумулятора для пропуску шланга виймають свинцеві пружини або кінцеві скляні трубки (рис. 6.7).

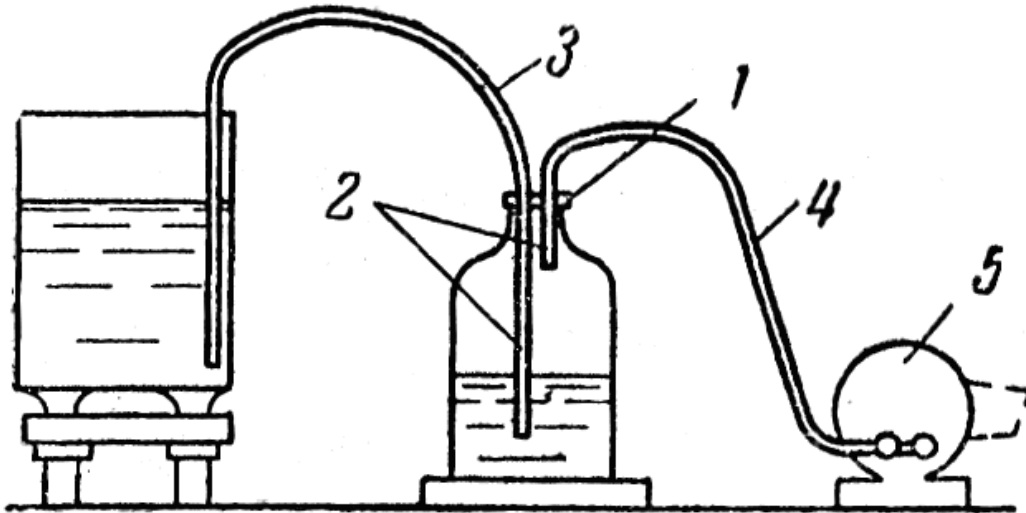


Рис. 6.7 – Відкачування шламу за допомогою вакуум-насосу або повітродувки:  
1 – гумова пробка (№ 45); 2 – скляні трубки 12-15 мм; 3, 4 – гумові шланги; 5 – вакуум-насос, або повітродувка

В акумуляторах С-5 (СК-5), С-8 (СК-8) і С-12 (СК-12) для пропуску гумового шланга іноді доводиться вирізати по одній бічній пластині. До короткої скляної трубки приєднується гумовий шланг від вакуум-насосу або повітродувки. У бутлі створюється розрідження, електроліт переливається в бутель, захоплюючи з собою шлам. При цьому шлам необхідно обережно розмішувати скляною паличкою, зігнутою під прямим кутом. Після видалення шламу акумулятор негайно заповнюється електролітом.

За відсутності вакуум-насосу відкачування шламу можна проводити за допомогою сифона. Як сифон використовується гумова трубка діаметром 14-16 мм.

Трубка повинна бути такої довжини, щоб, будучи опущеною в акумуляторну посудину, вона діставала до дна, а інший кінець, перегинаючись через стінку посудини, опускався на 25-30 см нижче за її дно (рис. 6.8). Один кінець трубки забезпечується затиском (рис. 6.9). Трубка заповнюється дистильованою водою. Кінець трубки із затиском опускається в посуд, в який зливатиметься електроліт; другий кінець її, затиснутий пальцями (на відстані 50-60 мм від обріза трубки), опускається в електроліт і швидко доводиться до дна посудини.

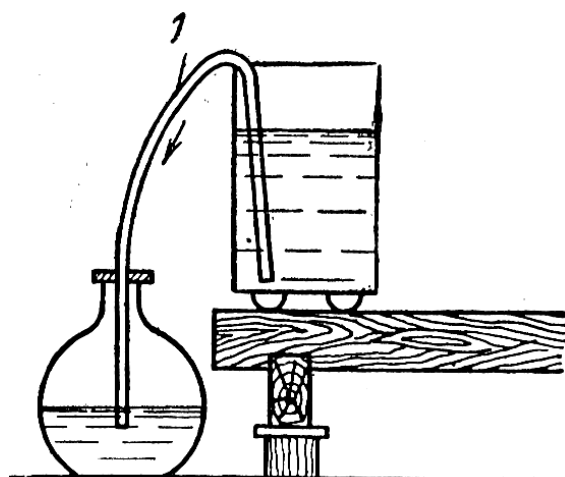


Рис. 6.8 – Відкачування шламу сифоном  
1 – гумова трубка

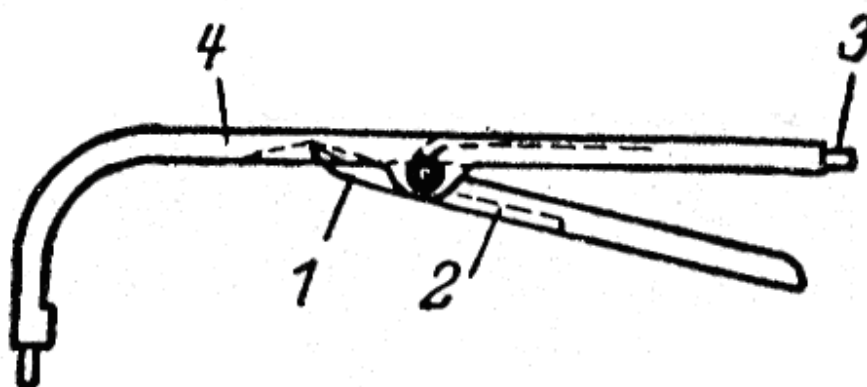


Рис. 6.9 – Затиск сифону  
1 — затиск трубки; 2 — пружина; 3 — гумова трубка; 4 — корпус

Натиском на рукоятку затиску трубка відкривається, й електроліт під дією різниці рівнів почне переливатися в посуд, захоплюючи за собою шлам. Так само, як і при вакуум-наосі, шлам необхідно обережно розмішувати. При відкачуванні шламу сифоном необхідно стежити за тим, щоб гумова трубка не вислизнула з елемента.

### 6.2.7 Усунення шкідливих домішок з електроліту

Для видалення з акумулятора хлористих і азотистих з'єднань необхідно акумулятор розрядити, повністю видалити електроліт і на 1 годину заповнити чистою водою, потім воду злити, заповнити акумулятор електролітом питомої ваги 1,04-1,06 і піддати його трьом-чотирьом заряд-розрядам. У кінці останнього заряду питома вага електроліту доводиться до 1,20-1,21. При забрудненні електроліту залізом акумулятор розряджають, видаляють електроліт і заповнюють на 1 годину чистою водою. Після видалення води акумулятор заливають дистильованою водою і заряджають. Після досягнення постійності напруги і

питомої ваги електроліту розчин замінюють свіжим електролітом. Акумулятор розряджають до 1,7 В. У кінці розряду електроліт перевіряють на вміст заліза. При позитивному результаті аналізу акумулятор заряджають нормальним струмом. Тривалість заряду – на 0,5 години більша за звичайну. У разі несприятливого аналізу цикл обробки повторюється.

Як правило, двократної обробки буває досить для приведення акумулятора в робочий стан.

### 6.2.8 Виправлення відстаючих елементів

Відстаючий елемент при нормальному заряді батареї або в режимі постійного підзаряду не має нормальної напруги, електроліт в ньому зниженої питомої ваги. З кожним розрядом його відставання збільшується, і якщо не вжити заходів до виправлення, елемент може переполюсоватися. Для виправлення відстаючому елементу необхідно дати додатковий тривалий підзаряд.

Існує декілька способів підзаряду відстаючих елементів.

**Перший спосіб.** Перший спосіб найпростіший і не вимагає вирізки відстаючого елемента з батареї. На час розряду батареї паралельно відстаючому підключається повністю заряджений запасний елемент такої ж ємності (рис. 6.10). Тому при розряді від відстаючого елемента віднімається в 2 рази менша ємність.

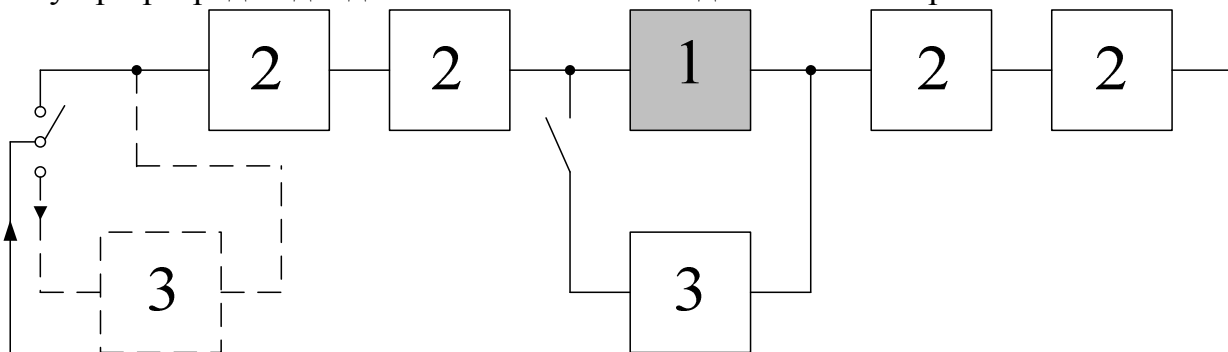


Рис. 6.10 – Застосування запасного елемента

1 — відстаючий елемент; 2 — справні елементи; 3 — запасний елемент

Під час заряду запасний елемент відключається від того, що відстає, і останній одержує заряд повним струмом. На час розряду схема відновлюється.

Протягом двох-трьох заряд-розрядів елемент виправляється. Ознаками виправлення служать постійність напруги і питомої ваги електроліту на рівні 1,20-1,21. Заряд запасного елемента здійснюється включенням його в ланцюг батареї. На рис. 6.10 схема включення показана пунктиром.

**Другий спосіб.** За наявності джерела постійного струму низької напруги підзаряд відстаючого елемента також здійснюється достатньо просто. Елемент шунтується опором 0,25-1,00 Ом, і одна з його сполучних смуг розрізається уздовж (рис. 6.3). У розріз закладається смужка пропарафіненого електрокартону.

Шунтуючий опір, не розриваючи коло, замінюють мідними перемичками. До сполучних смуг елемента підключається джерело зарядного струму. Заряд починають нормальним для цього елемента струмом. Після початку помітного газовиділення зарядний струм знижують до 10% максимального зарядного струму. Цей струм підтримується до повного виправлення елемента.

**Третій спосіб.** Підзаряд з виключенням при розряді. Так само, як і в другому способі, елемент з одного боку вирізається з батареї. Під час розряду елемент відключений від батареї і не розряджається. При заряді розрізана сполучна смуга замикається перемичкою. Щоб уникнути короткого замикання елемента, спочатку перемички замінюються шунтуючим опором (без розриву ланцюга), смуга замикається, знімається шунтуючий опір. Таку операцію повторюють, поки у відстаючого елемента в кінці заряду питома вага електроліту не збільшиться до нормального, однакового з іншими елементами, значення.

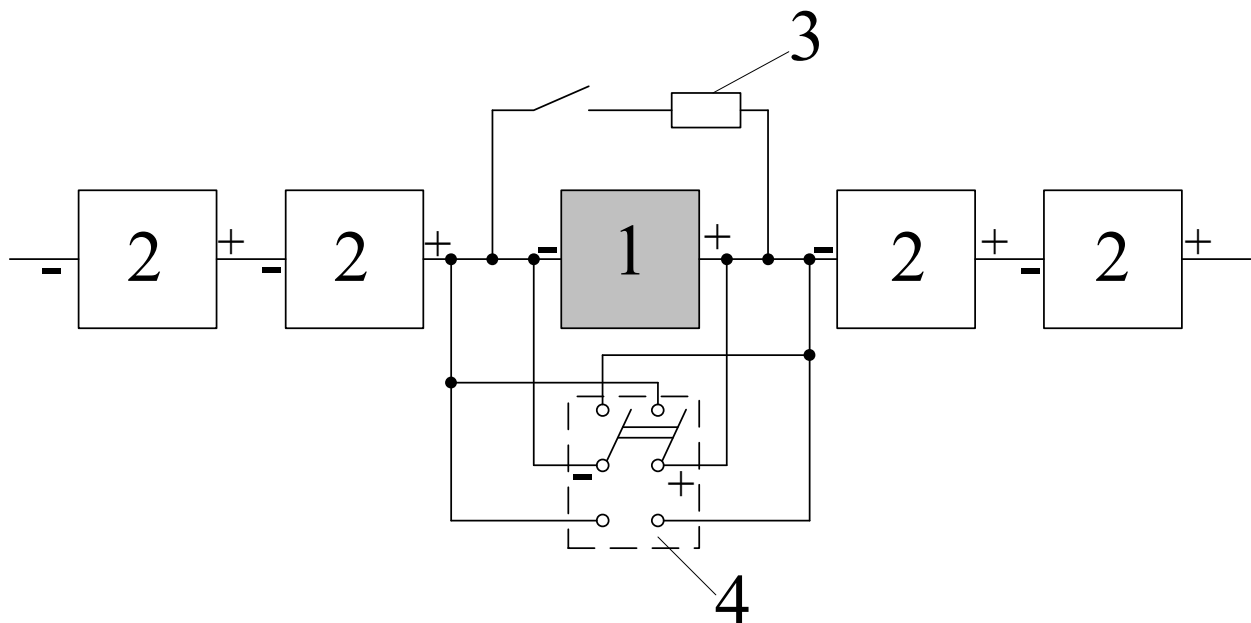


Рис. 6.11 – Схема підзаряду зустрічним струмом при розряді:

- 1 — відстаючий елемент, 2 — здорові елементи;
- 3 — паралельно включений опір; 4 — перемикач

**Четвертий спосіб.** Підзаряд зустрічним струмом при розряді. Підзаряд при нормальному включенні відстаючого елемента при заряді батареї та зустрічному включенні при розряді батареї в 2 рази порівняно з третім способом прискорює процес виправлення елемента. Для такого підзаряду необхідно розрізати обидві сполучні смуги. Під'єднання схеми (рис. 6.11) і перемикування в ній, щоб уникнути розриву ланцюга батареї під навантаженням і закорочування відстаючого елемента, повинні проводитися при знятому з батареї навантаженні або за допомогою шунтуючого опору.

Перший, третій і четвертий способи виправлення відстаючих елементів застосовуються тільки для батарей, що працюють в режимі заряд-розряд. Другий спосіб застосовується до батарей, що працюють в будь-якому режимі.

### **6.2.9 Виправлення деформації стелажів**

При виготовленні стелажів часто, порушуючи ГОСТ, застосовують сиру низькосортну деревину. У міру її висихання стелажі деформуються, виникають перекося акумуляторних посудин і баків. При значних деформаціях стелажів руйнуються скляні посудини і порушується щільність свинцевих обкладок у дерев'яних баках. Серйозні деформації стелажів виникають також при установці тумбочок безпосередньо на асфальтовому підлозі. Асфальт під вагою акумуляторів поступово продавлюється, і стелажі прогинаються. Дефектні стелажі повинні замінюватися або виправлятися. Звичайно, простіше і швидше поставити нові стелажі.

Поряд зі стелажем, що підлягає заміні, встановлюється міцний настил із струганих дощок. Довжина і висота настилу повинні бути рівні довжині та висоті стелажу.

Батарея розряджається на 85-90% ємності. Відрізають хвости пластин однієї полярності всіх елементів, встановлених на певному стелажі, відкачують електроліт до верхньої кромки пластин, елементи поодиноці переносять на настил і встановлюють на дерев'яні бруски. Для полегшення перенесення елементів відрізані пластини (краще позитивні) видаляють з елементів. Це значно спрощує перенесення елементів, але ускладнює і подовжує роботу.

Вирізані пластини підвішують в акумуляторну посудину або бак, заповнений дистильованою водою.

Елементи до С-20 (СК-20) включно цим настільки полегшуються, що їх без особливих зусиль можна перемістити на пастил і поставити на дерев'яні бруски.

Для переміщення елементів С-24-С-36 (СК-24- СК-36) необхідно, окрім вилучення позитивних пластин, повністю відкачати електроліт. Після переміщення елемента на настил його потрібно негайно, щоб уникнути нагріву і псування негативних пластин, залити електролітом.

Всі операції з відкачуванням електроліту, переміщенням елемента і заливкою електроліту необхідно виконувати з максимальною швидкістю.

Після завершення переміщення елементів дефектні стелажі забираються і на їх місце встановлюються нові. Якщо в старих стелажих тумбочки спиралися безпосередньо на асфальт, то це необхідно переробити.

У місцях встановлення тумбочок асфальт вирубують до бетонної підлоги. З розчину швидко застигаючого цементу роблять подушки і на них накладаються з перевіркою по рівню метлахські плитки. Шви заливаються бітумом. Установлені стелажі перевіряються рівнем уздовж і впоперек.



За допомогою шаблону на лаги стелажів встановлюють ізолятори (широкою основою до акумулятора), на ізолятори накладають по одній свинцевій або пластмасовій (з кислотостійкої пластмаси) прокладці. Потім переміщують елементи з настилу на стелаж. Перевіряють стійкість елементів. При необхідності на ізолятори кладуть додаткові прокладки. Контролюють горизонтальність установки елементів рівнем, а правильність розміщення в ряду – шнурком.

Якщо позитивні пластини не виймалися, доливають електроліт до норми і приступають до паяння пластин. Якщо позитивні пластини виймалися, їх встановлюють на місце і припаюють.

Оскільки розряджена батарея достатньо тривалий час залишається без заряду, пластини акумуляторів опиняються зазвичай у тому або іншому ступені засульфатованими. Тому для приведення батареї в робочий стан їй необхідно дати зрівняльний заряд з повідомленням 2-3-кратної ємності 10-годинного заряду.

### 6.2.10 Заміна сепарації в окремих елементах

Необхідна кількість сепараторів збирається на паличках на шаблоні (рис. 6.12). В елементах С-24 (СК-24) середні дві палички надягаються на вже вставлений в елемент сепаратор.

З акумулятора, де буде замінюватися сепарація, видаляють пружини і кінцеві скляні трубки, загостреною дощечкою злегка розсовують пластини і витягують старі сепаратори.

На акумуляторах С-5 (СК-5), С-8 (СК-8) і С-12 (СК-12) для полегшення видалення старих сепараторів і установки нових вирізається і виймається одна бічна пластина. Пластина зберігається в електроліті або дистильованій воді. Після установки сепараторів вона упаюється на місце.

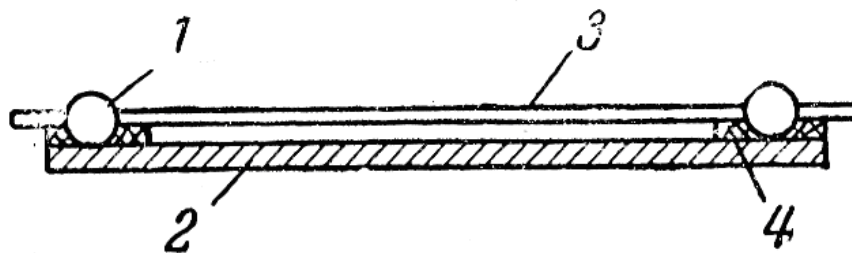


Рис. 6.12 – Шаблон для складання сепараторів:  
1 – паличка; 2 – дошка; 3 – фанера; 4 – прибита планочка

Старі сепаратори через втрату механічної міцності можуть при вийманні руйнуватися, шматки сепараторів залишаться в акумуляторі і можуть послужити причиною замикання пластин через шлам на обкладку. Тому їх виймання, особливо з акумуляторів у непрозорих посудинах, потрібно проводити дуже обережно. Виймати сепаратора за крайні палички ризиковано, оскільки в місці поділу «кислота-повітря» палички часто обвуглюються і легко ламаються. Слід опустити на сепаратор, що витягується, прорізом дві нові середні палички, і діючи

ними, як щипцями, обережно витягнути сепаратора.

Якщо немає необхідності у відкачуванні шламу, заміні електроліту або правці покороблених пластин, в елемент встановлюється нова сепарація. Елементу з новою сепарацією слід дати заряд, подовжений на 10-20% від нормального.

Заміну сепарації найвигідніше робити після розряду акумулятора. При розряді деякі шкідливі домішки виділяються на сепараторах. При видаленні сепараторів видаляється і частина шкідливих домішок. При перших зарядах акумуляторів з новою сепарацією в них з'являється піна. Це явище нормальне і небезпеки для акумуляторів не несе.

### **6.2.11 Заміна пластин**

При добре організованому обслуговуванні акумуляторної батареї поверхневі позитивні пластини і коробчасті негативні служать дуже довго. Проте нормальний термін служби позитивних пластин значно менше терміну служби негативних пластин. Тому заміну позитивних пластин, навіть в умовах хорошої експлуатації, доводиться проводити практично в 2 рази частіше, ніж негативних пластин.

Головною ознакою «природного» зносу пластин є зниження ємності акумулятора, а у випадках особливо глибокого зносу – переполносовання акумулятора. «Природний» знос найефективніше виявляється перевіркою ємності пластин за допомогою допоміжного кадмієвого електрода.

При обстеженні батареї кадмієвим електродом виявляється стан пластин за кожним елементом і за наслідками обстеження встановлюються номенклатура й об'єм замінюваних пластин. Окрім планової заміни пластин через «природний» знос, в експлуатації доводиться замінювати пластини через заводські дефекти пластин і через дефекти, що виникають в результаті поганої експлуатації. Прикладами таких дефектів позитивних пластин будуть: викривлення, що не піддається виправленню, руйнування пластин, надмірне збільшення пластин, що загрожує цілісності посудини, та ін.

Для негативних пластин характерними є розбухання активної маси з руйнуванням перфорованої сітки, розкришування активної маси, неприпустима усадка активної маси.

При заміні пластин необхідно строго дотримуватися наступних основних правил:

*1. При заміні пластин не можна в одному і тому ж елементі встановлювати одночасно старі та нові пластини однієї полярності.*

Напруга нових пластин при розряді вища за напругу старих. Тому, знаходячись в одному елементі зі старими, нові пластини віддаватимуть струм, значно більший за нормальний, і, отже, систематично піддаватимуться надмірно глибоким розрядам. У результаті нові пластини швидко вийдуть з ладу.

*2. В один і той самий елемент можуть бути одночасно поставлені пластини однієї полярності тільки однакового ступеня зносу.*

При одночасній частковій заміні пластин обох полярностей в декількох елементах необхідно 1-2 елементи повністю зібрати з нових пластин. Годні старі пластини, що звільнилися, використовувати для заміни дефектних пластин в решті ремонтваних елементів.

*3. При заміні пластин обох полярностей в одному елементі незалежно від їх кількості слід повністю замінювати пластини обох полярностей.*

Демонтовані придатні пластини необхідно консервувати і зберігати для використання при подальших ремонтах.

Вимога 3 справедлива за відсутності у запасі придатних старих пластин. За їх наявності ними замінюються дефектні в елементі, який ремонтується.

*4. При заміні тільки позитивних пластин можна ставити нові позитивні пластини при старих негативних пластинах.*

Як вже указувалося вище, нормальний термін служби негативних пластин значно більше нормального терміну служби позитивних пластин. Тому при справних старих негативних пластинах і нових позитивних акумулятор може тривало експлуатуватися.

*5. Не можна при заміні негативних пластин новими залишати в певному елементі старі позитивні пластини.*

Нові негативні пластини володітимуть ємністю, більшою, ніж старі позитивні, що призведе до систематичних перезарядів останніх. Необхідно для заміни застосовувати негативні пластини такого ж ступеня зносу, як і замінювані. За відсутності таких пластин необхідно в цьому елементі замінити новими пластини обох полярностей.

Порушення вимоги п. 5 допустиме тільки у випадках, коли вимірюваннями з кадмієвим електродом встановлено, що ємність позитивних пластин вища за ємність негативних. У цьому випадку допускається установка нових негативних пластин до старих позитивних.

*6. Не допускається установка нормальних негативних пластин замість спеціальних бічних.*

Нормальна негативна пластина має робочу площу в 2 рази більшу, ніж у спеціальної бічної пластини. Тому установка двох нормальних негативних пластин замість двох бічних рівносильна збільшенню в елементі числа негативних пластин на одну пластину. Це призводить до значного збільшення сумарної ємності негативних пластин і, отже, до систематичних перезарядів позитивних пластин. Особливо неприпустимо це в акумуляторах малої ємності з малим числом пластин. В акумулятора СК-6, наприклад, застосування негативних пластин замість бічних призводить до збільшення ємності негативних пластин на 33%.

Всі заміни пластин повинні жорстко реєструватися за кожним елементом окремо. Одночасно із записом про заміну пластин необхідно вказувати поелементно, які пластини залишилися непоміченими. Обов'язково указуються дата заміни, причина заміни і характеристика поставлених пластин (полярність, нові або старі). Для старих пластин за можливістю вказується попередній термін служби.

При одночасному ремонті всієї акумуляторної батареї без суцільної заміни всіх пластин (а це найчастіший випадок) в батареї опиняться елементи з різними наборами пластин, елементи з новими позитивними і негативними пластинами, елементи з новими позитивними і старими негативними пластинами, елементи зі старими позитивними і новими негативними пластинами (окремий випадок), елементи зі старими пластинами обох полярностей, що працювали в основній частині батареї, елементи зі старими пластинами обох полярностей, що працювали в кінцевій частині батареї. Ці елементи не будуть рівноцінними за працездатністю, і розміщення їх в батареї з елементним комутатором повинно здійснюватися у певному порядку. В основну частину батареї повинні встановлюватися в першу чергу елементи з новими пластинами обох полярностей, за ними – елементи з новими позитивними і старими негативними пластинами.

Якщо таких елементів для комплектації основної частини батареї не вистачає, додаються елементи зі старими позитивними і негативними пластинами. Оскільки кінцеві елементи, як правило, зношені менше, доцільно перемістити їх в основну частину батареї. Кінцеву частину батареї, тобто елементи, включені під елементний комутатор, слід набирати з акумуляторів із старими пластинами обох полярностей, що працювали в основній частині батареї.

## 7. КАПІТАЛЬНИЙ РЕМОНТ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

### 7.1 Організація капітального ремонту

Залежно від умов роботи батареї в капітальний ремонт виводиться вся батарея в цілому або проводиться частковий ремонт. Технологічно й економічно вигідніше проводити ремонт батареї в цілому. Зменшуються витрати робочої сили, приблизно в 2 рази знижується тривалість ремонту, правильніше використовуються придатні демонтовані пластини і ін. Тому за наявності другої батареї, на яку можна перекласти навантаження ремонтованої, безумовно слід виводити в ремонт відразу всю батарею.

На весь ремонт складається поопераційний графік. Для прискорення власне ремонтних робіт всі допоміжні операції (луження сепарації, підготовка електроліту й ін.) повинні бути закінчені до початку ремонту.

При неможливості виведення батареї в ремонт в цілому ремонт проводиться частково. Кількість елементів, що виводяться в ремонт, визначається з умови, щоб частина батареї, що залишається в роботі, забезпечувала достатньо надійне живлення споживачів.

Для акумуляторних батарей з елементним комутатором можна зазвичай при напрузі 220 В виводити в ремонт одночасно 12-15 елементів, при напрузі 110 В – відповідно 6-8 елементів.

Відповідно до прийнятої кількості одночасно ремонтованих елементів батарею розподіляють на групи і складають графік почергового виведення груп у ремонт.

До початку ремонту повинні бути приготовані перемички (не менше двох) для замикання ланцюга батареї після вирізки групи елементів для ремонту. Перемички виготовляються за можливістю з ізольованого гнучкого мідного проводу. Переріз проводу повинен вибиратися з умови, щоб електричний опір перемичок не перевищував опору групи відключених елементів. Кінці перемичок забезпечуються затисками типу струбцин. Довжини перемичок повинні вибиратися так, щоб вони не заважали ремонту вирізаної групи.

На час вирізки ремонтної групи навантаження постійного струму переводиться на зарядний агрегат. Хвости пластин, крайніх у групі, яку ремонтують, відрізаються, а до сполучних смуг (від яких відрізані пластини) приєднуються перемички. Приєднувати перемички до відрізки хвостів пластин не можна – це спричинить коротке замикання у вирізаній групі.

Після установки перемичок навантаження постійного струму може бути переведене на батарею. Для зворотного включення відремонтованої групи елементів навантаження постійного струму переводиться на зарядний агрегат і знімаються перемички. Хвости пластин крайніх елементів групи припаюються до сполучних смуг, вирізається чергова група елементів для ремонту, ставляться перемички. Навантаження переводиться на батарею, якій дається зрівняльний заряд.

## **7.2 Підготовка до капітального ремонту акумуляторної батареї**

Для визначення об'єму ремонтних робіт слід провести обстеження ємності пластин за допомогою кадмієвого електрода, перевірку ємності батареї нормальним розрядом, аналіз електроліту не менше ніж з 30% елементів. Проводиться ретельний огляд батареї з фіксацією стану сепарації, кількості та характеру шламу, збільшення і викривлення пластин, стану акумуляторних судин і стелажів. Результати вимірювань і огляду повинні бути записані за кожним елементом.

На підставі вимірювань, аналізів і даних огляду встановлюється обсяг ремонту. Важливе значення має термін служби пластин і сепарації. Наприклад, якщо обстеженнями встановлено, що батарея має знижену ємність, в значній частині елементів знижена ємність пластин, кількість домішок в електроліті близька до граничного, сепарація втратила механічну міцність, велике збільшення і викривлення позитивних пластин, багато шламу, а пластини пропрацювали більше 8 років, то можна сміливо призначати ремонт з повною заміною пластин і електроліту.

Якщо за сумою ознак буде вирішено провести ремонт із частковою заміною пластин, то для полегшення подальшої розбраковки демонтованих пластин доцільно на акумуляторні судини нанести мітки за наслідками вимірювань з кадмієвим електродом. Повну заміну сепарації потрібно передбачати і в цьому випадку.

## **7.3 Підготовка запасних деталей і матеріалів**

При капітальному ремонті акумуляторної батареї в скляних посудинах необхідно мати наступні деталі:

- 1) пластини акумуляторні (табл. 7.1);
- 2) сепаратори і палички із штифтами (табл. 7.1);
- 3) ізолятори (табл. 7.2, рис. 7.1.);
- 4) пружини свинцеві (табл. 7.2, рис. 7.2.);
- 5) гумові муфти (табл. 7.2, рис. 7.3.);
- 6) посудини скляні (табл. 7.2);
- 7) сполучні смуги (табл. 7.3 і 7.4, рис. 7.4.);
- 8) кабельні наконечники (табл. 7.3 і 7.4, рис. 7.5).

Для складання електроліту необхідні акумуляторна кислота і дистильована вода. Дистильована вода необхідна також для промивки демонтованих пластин і ополіскування посудин. Для луження сепараторів і паличок повинен бути заготовлений їдкий натр (каустична сода). Для нейтралізації підтікань на стелажі і взагалі пролитого електроліту буде потрібна кальцинована сода. Для нейтралізації кислоти, що потрапила на шкіру, повинен бути постійно під руками 10%-ний розчин двовуглекислої соди, а отже, запас сухої соди.

Для паяння пластин необхідно мати запас паяльних свинцевих прутків, газ бутан-пропан або водень.

Якщо паяння передбачається водневе з виробництвом водню на місці, то слід придбати чушковий цинк.

У батареях у керамічних посудинах спостерігається масова течя з цих посудин. Тому при капітальних ремонтах іноді керамічні посудини замінюють дерев'яними баками, викладеними свинцем. Завчасно слід замовити дерев'яні баки і листовий свинець для обкладки. Знадобиться також підпорне скло, свинцеві жолобки, кінцеві скляні трубки і гумові муфти.

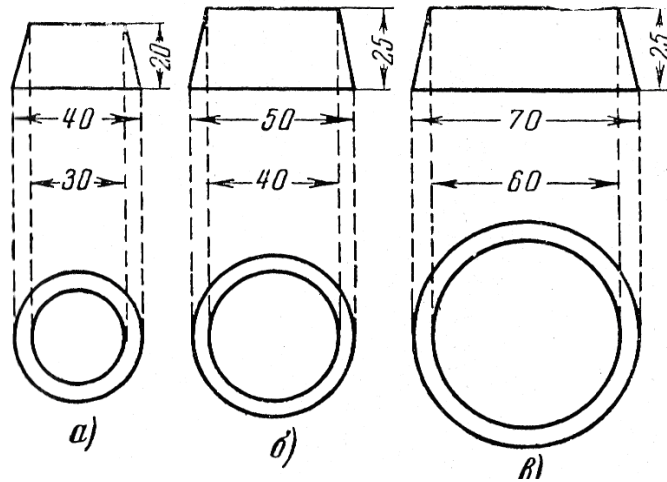


Рис. 7.1 – Ізолятори

а) для акумуляторів С(СК) № 1-5; б) для акумуляторів С(СК) № 6-20; в) для акумуляторів С(СК) № 24 і вище

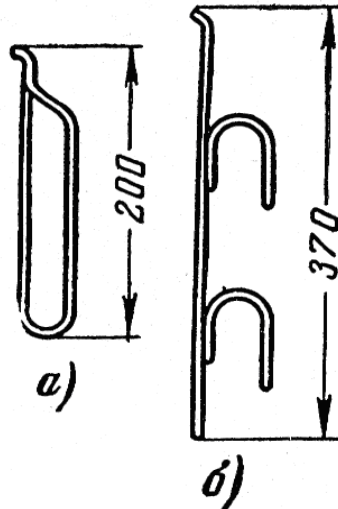


Рис. 7.2 – Свинцеві пружини

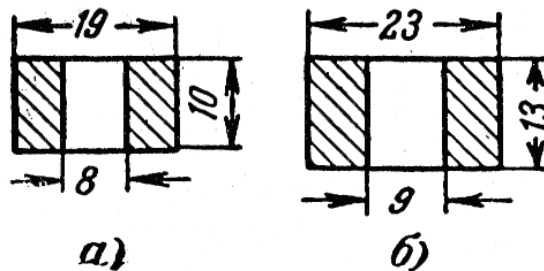


Рис. 7.3 – Гумові муфти

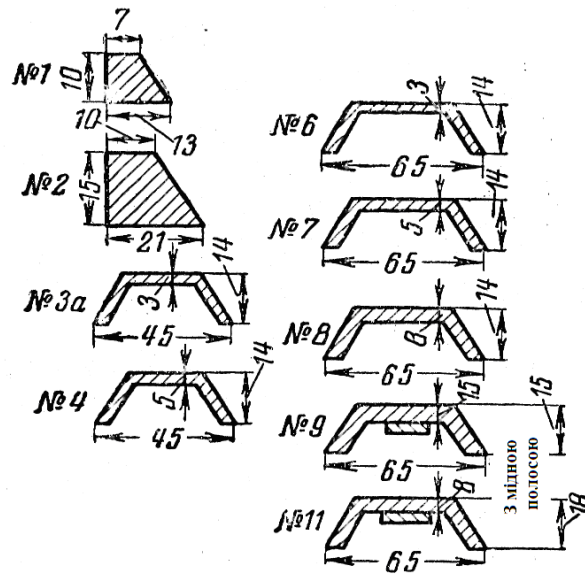


Рис. 7.4 – Сполучні смуги

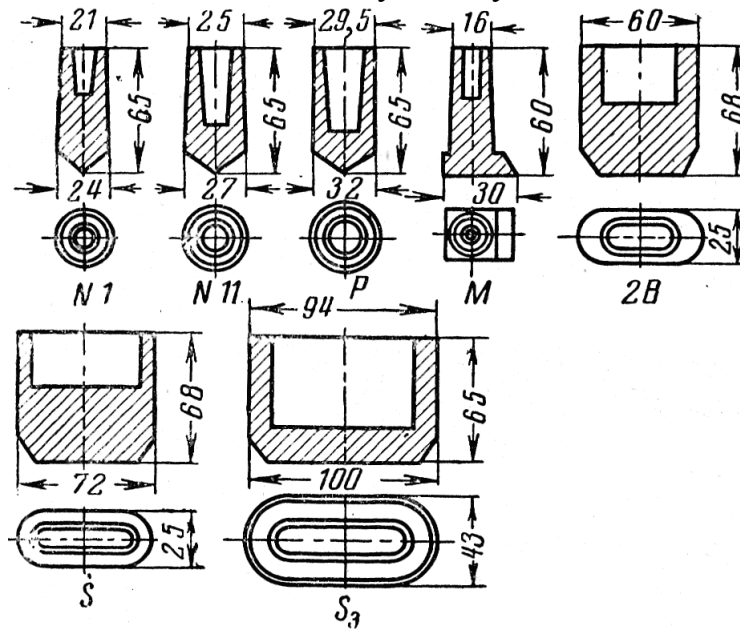


Рис. 7.5 – Наконечники кабельні



Таблиця 7.1 – Пластини і сепарація акумуляторів С і СК

| № акумулятора | Тип пластин | Число пластин |            |        | Дерев'яні сепаратори товщиною 1,5 мм |            |             | Дерев'яні палички товщиною 8,5 мм |             |         |             | Скляні трубки 550×15,5 мм | Число гумових муфт |
|---------------|-------------|---------------|------------|--------|--------------------------------------|------------|-------------|-----------------------------------|-------------|---------|-------------|---------------------------|--------------------|
|               |             | позитивних    | негативних |        | число                                | висота, мм | довжина, мм | кінцеві                           |             | середні |             |                           |                    |
|               |             |               | середніх   | бічних |                                      |            |             | число                             | довжина, мм | число   | довжина, мм |                           |                    |
| 1             | И-1         | 1             | -          | 2      | 2                                    | 195        | 180         | 4                                 | 265         | -       | -           | -                         | -                  |
| 2             | И-1         | 2             | 1          | 2      | 4                                    | 195        | 180         | 8                                 | 265         | -       | -           | -                         | -                  |
| 3             | И-1         | 3             | 2          | 2      | 6                                    | 195        | 180         | 12                                | 265         | -       | -           | -                         | -                  |
| 4             | И-1         | 4             | 3          | 2      | 8                                    | 195        | 180         | 16                                | 265         | -       | -           | -                         | -                  |
| 5             | И-1         | 5             | 4          | 2      | 10                                   | 195        | 180         | 20                                | 265         | -       | -           | -                         | -                  |
| 6             | И-2         | 3             | 2          | 2      | 6                                    | 360        | 185         | 12                                | 435         | -       | -           | -                         | -                  |
| 8             | И-2         | 4             | 3          | 2      | 8                                    | 360        | 185         | 16                                | 435         | -       | -           | -                         | -                  |
| 10            | И-2         | 5             | 4          | 2      | 10                                   | 360        | 185         | 20                                | 435         | -       | -           | -                         | -                  |
| 12            | И-2         | 6             | 5          | 2      | 12                                   | 360        | 185         | 24                                | 435         | -       | -           | -                         | 4                  |
| 14            | И-2         | 7             | 6          | 2      | 14                                   | 360        | 185         | 28                                | 435         | -       | -           | 4                         | 4                  |
| 16            | И-2         | 8             | 7          | 2      | 16                                   | 360        | 185         | 32                                | 435         | -       | -           | 4                         | 4                  |
| 18            | И-2         | 9             | 8          | 2      | 18                                   | 360        | 185         | 36                                | 435         | -       | -           | 4                         | 4                  |
| 20            | И-2         | 10            | 9          | 2      | 20                                   | 360        | 185         | 40                                | 435         | -       | -           | 4                         | 4                  |
| 24            | И-4         | 6             | 5          | 2      | 12                                   | 385        | 380         | 24                                | 470         | 24      | 410         | 8                         | 8                  |
| 28            | И-4         | 7             | 6          | 2      | 14                                   | 385        | 380         | 28                                | 470         | 28      | 410         | 8                         | 8                  |
| 32            | И-4         | 8             | 7          | 2      | 16                                   | 385        | 380         | 32                                | 470         | 32      | 410         | 8                         | 8                  |
| 36            | И-4         | 9             | 8          | 2      | 18                                   | 385        | 380         | 36                                | 470         | 36      | 410         | 8                         | 8                  |
| 40            | И-4         | 10            | 9          | 2      | 20                                   | 385        | 380         | 40                                | 470         | 40      | 410         | 8                         | 8                  |
| 44            | И-4         | 11            | 10         | 2      | 22                                   | 385        | 380         | 44                                | 470         | 44      | 410         | 8                         | 8                  |
| 48            | И-4         | 12            | 11         | 2      | 24                                   | 385        | 380         | 48                                | 470         | 48      | 410         | 8                         | 8                  |
| 52            | И-4         | 13            | 12         | 2      | 26                                   | 385        | 380         | 52                                | 470         | 52      | 410         | 8                         | 8                  |
| 56            | И-4         | 14            | 13         | 2      | 28                                   | 385        | 380         | 56                                | 470         | 56      | 410         | 8                         | 8                  |
| 60            | И-4         | 15            | 14         | 2      | 30                                   | 385        | 380         | 60                                | 470         | 60      | 410         | 8                         | 8                  |
| 64            | И-4         | 16            | 15         | 2      | 32                                   | 385        | 380         | 64                                | 470         | 64      | 410         | 8                         | 8                  |
| 68            | И-4         | 17            | 16         | 2      | 34                                   | 385        | 380         | 68                                | 470         | 68      | 410         | 8                         | 8                  |
| 72            | И-4         | 18            | 17         | 2      | 36                                   | 385        | 380         | 72                                | 470         | 72      | 410         | 8                         | 8                  |

**Примітка.** Акумулятори старих випусків до типу С-20(СК-20) поставлялись у скляних посудинах. Акумулятори останніх випусків, починаючи з типу С-14(СК-14), можуть поставлятися у дерев'яних баках.

Таблиця 7.2 – Скляні посудини, ізолятори, свинцеві пружини і гумові муфти для акумуляторів С і СК № 1-20

| № акумулятора | Розміри посудини, мм |        |        | Ізолятори |                  | Свинцеві пружини |             |            |                  | Гумові муфти (рис. 7.3, а), шт |
|---------------|----------------------|--------|--------|-----------|------------------|------------------|-------------|------------|------------------|--------------------------------|
|               | довжина              | ширина | висота | число     | форма (рис. 7.1) | число            | довжина, мм | ширина, мм | форма (рис. 7.2) |                                |
| 1             | 80                   | 215    | 270    | 3         | а                | 2                | 200         | 20         | а                | 2                              |
| 2             | 130                  | 215    | 270    | 4         | а                | 2                | 200         | 30         | а                | 2                              |
| 3             | 180                  | 215    | 270    | 4         | а                | 2                | 200         | 40         | а                | 2                              |
| 4             | 215                  | 230    | 270    | 4         | а                | 2                | 200         | 50         | а                | 2                              |
| 5             | 215                  | 230    | 270    | 4         | а                | 2                | 200         | 20         | а                | 2                              |
| 6             | 220                  | 195    | 485    | 4         | б                | 2                | 370         | 50         | а                | 2                              |
| 8             | 220                  | 195    | 485    | 4         | б                | 2                | 370         | 20         | а                | 2                              |
| 10            | 220                  | 260    | 485    | 4         | б                | 2                | 370         | 40         | а                | 2                              |
| 12            | 220                  | 270    | 485    | 4         | б                | -                | -           | -          | -                | 4                              |
| 14            | 220                  | 295    | 485    | 4         | б                | -                | -           | -          | -                | 4                              |
| 16            | 220                  | 345    | 485    | 4         | б                | 2                | 370         | 20         | б                | 2                              |
| 18            | 220                  | 395    | 485    | 4         | б                | 2                | 370         | 30         | б                | 2                              |
| 20            | 220                  | 425    | 485    | 4         | б                | -                | -           | -          | -                | 4                              |

Останнім часом для усунення течі керамічних посудин в них вставляють пластикатові чохла-вкладиші. Для виготовлення їх потрібен листовий вініпласт.

Якщо заміна або реконструкція керамічних посудин не передбачається, то номенклатура деталей і матеріалів для ремонту цих батарей така сама, як і для батарей в скляних посудинах.

При ремонті батарей в дерев'яних баках додатково до номенклатури деталей і матеріалів, необхідних для батарей у скляних посудинах (за винятком скляних посудин), потрібна невелика кількість підпорного скла, свинцевих жолобків, кінцевих скляних трубок і гумових муфт (табл. 7.5). Бажано мати 2-3 нових дерев'яних бака, викладених листовим свинцем.

Таблиця 7.3 – Сполучні смуги (рис. 7.4) і кабельні наконечники (рис. 7.5) для акумуляторів типу С

| № акумулятора | Свинцеві смуги без наконечників |             | Свинцеві смуги з наконечниками |             |             |             |                     |
|---------------|---------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|---------------------|
|               | профіль №                       | довжина, мм | профіль №                      | довжина, мм | мідна смуга |             | профіль наконечника |
|               |                                 |             |                                |             | профіль     | довжина, мм |                     |
| 1             | 1                               | 170         | 1                              | 170         | -           | -           | М                   |
| 2             | 1                               | 270         | 1                              | 270         | -           | -           | М                   |
| 3             | 1                               | 360         | 1                              | 360         | -           | -           | М                   |
| 4             | 3а                              | 195         | 3а                             | 195         | -           | -           | № 1                 |
| 5             | 3а                              | 230         | 3а                             | 230         | -           | -           | № 1                 |
| 6             | 3а                              | 160         | 3а                             | 160         | -           | -           | № 1                 |
| 8             | 3а                              | 195         | 3а                             | 195         | -           | -           | № 1                 |
| 10            | 3а                              | 235         | 3а                             | 235         | -           | -           | № 1                 |
| 12            | 3а                              | 255         | 3а                             | 255         | -           | -           | № 1                 |
| 14            | 6                               | 295         | 6                              | 295         | -           | -           | -                   |
| 16            | 6                               | 345         | 6                              | 345         | -           | -           | № 11                |
| 18            | 6                               | 395         | 6                              | 395         | -           | -           | № 11                |
| 20            | 6                               | 415         | 6                              | 415         | -           | -           | № 11                |
| 24            | 6                               | 275         | 6                              | 275         | -           | -           | Р                   |
| 28            | 6                               | 310         | 7                              | 310         | -           | -           | Р                   |
| 32            | 6                               | 345         | 7                              | 345         | -           | -           | 2В                  |
| 36            | 6                               | 385         | 8                              | 385         | -           | -           | 2В                  |
| 40            | 6                               | 420         | 8                              | 420         | -           | -           | 2В                  |
| 44            | 6                               | 455         | 9                              | 455         | -           | -           | 2В                  |
| 48            | 6                               | 495         | 9                              | 495         | -           | -           | 2В                  |
| 52            | 6                               | 530         | 9                              | 530         | -           | -           | С                   |
| 56            | 6                               | 570         | 9                              | 570         | -           | -           | С                   |
| 60            | 6                               | 605         | 9                              | 605         | -           | -           | С                   |
| 64            | 6                               | 640         | 11                             | 640         | 25×3        | 450         | С                   |
| 68            | 6                               | 680         | 11                             | 680         | 25×3        | 490         | С                   |
| 72            | 6                               | 715         | 11                             | 715         | 25×3        | 530         | С                   |

Таблиця 7.4 – Сполучні смуги (рис. 7.4) і кабельні наконечники (рис. 7.5) для акумуляторів типу СК

| № акумулятора | Свинцеві смуги без наконечників |             | Свинцеві смуги з наконечниками |             |             |             |                     |
|---------------|---------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|---------------------|
|               | профіль №                       | довжина, мм | профіль №                      | довжина, мм | мідна смуга |             | профіль наконечника |
|               |                                 |             |                                |             | профіль     | довжина, мм |                     |
| 1             | 1                               | 170         | 1                              | 170         | -           | -           | М                   |
| 2             | 1                               | 270         | 1                              | 270         | -           | -           | М                   |
| 3             | 2                               | 360         | 2                              | 360         | -           | -           | М                   |
| 4             | 3а                              | 195         | 3а                             | 195         | -           | -           | № 1                 |
| 5             | 3а                              | 230         | 3а                             | 230         | -           | -           | № 1                 |
| 6             | 3а                              | 160         | 3а                             | 160         | -           | -           | № 1                 |
| 8             | 3а                              | 195         | 3а                             | 195         | -           | -           | Р                   |
| 10            | 3а                              | 235         | 4                              | 235         | -           | -           | Р                   |
| 12            | 3а                              | 255         | 4                              | 255         | -           | -           | Р                   |
| 14            | 6                               | 295         | 7                              | 295         | -           | -           | 2В                  |
| 16            | 6                               | 345         | 7                              | 345         | -           | -           | 2В                  |
| 18            | 6                               | 395         | 7                              | 395         | -           | -           | 2В                  |
| 20            | 6                               | 415         | 7                              | 415         | -           | -           | 2В                  |
| 24            | 7                               | 275         | 8                              | 275         | -           | -           | С                   |
| 28            | 7                               | 310         | 9                              | 310         | -           | -           | С                   |
| 32            | 7                               | 345         | 11                             | 345         | 25×3        | 160         | С                   |
| 36            | 7                               | 385         | 11                             | 385         | 25×3        | 200         | С                   |
| 40            | 7                               | 420         | 11                             | 420         | 25×3        | 230         | С                   |
| 44            | 7                               | 455         | 11                             | 455         | 20×4        | 270         | С                   |
| 48            | 7                               | 495         | 11                             | 495         | 25×4        | 310         | С                   |
| 52            | 7                               | 530         | 11                             | 530         | 25×4        | 340         | С                   |
| 56            | 7                               | 570         | 11                             | 570         | 25×5        | 380         | С                   |
| 60            | 7                               | 605         | 11                             | 605         | 25×5        | 420         | С                   |
| 64            | 7                               | 640         | 11                             | 640         | 25×5        | 450         | С                   |
| 68            | 7                               | 680         | 11                             | 680         | 25×6        | 490         | С                   |
| 72            | 7                               | 715         | 11                             | 715         | 28×6        | 530         | С                   |

Нижче наводяться приклади визначення потреби в деталях для капітального ремонту батареї.

**Приклад 1.** Акумуляторна батарея СК-24 в керамічних посудинах. Потрібно замінити всі пластини, всю сепарацію й електроліт. Замість керамічних посудин повинні бути поставлені дерев'яні баки, викладені листовим свинцем.

*Акумуляторні пластини.* В елементах СК-24 6 позитивних, 5 негативних і 2 бічних пластини типу И-4 (табл. 7.1).

На всю батарею з урахуванням 10% запасу необхідно:

- позитивних пластин  $1,1 \cdot 130 \cdot 6 = 858$  шт.
- негативних пластин  $1,1 \cdot 130 \cdot 5 = 715$  шт.

- бічних пластин  $1,1 \cdot 130 \cdot 2 = 286$  шт.

*Сепарація.* В елементах СК-24 12 сепараторів розміром 385×380 мм, 24 кінцевих палички довжиною 410 і діаметром 8,5 мм і 24 ебонітових або вінілпластових штифтів розміром 14×3 мм (табл. 7.1).

Всього необхідно з запасом 10%:

- сепараторів  $1,1 \cdot 130 \cdot 12 = 1750$  шт.
- кінцевих паличок  $1,1 \cdot 130 \cdot 24 = 3500$  шт.
- середніх паличок  $1,1 \cdot 130 \cdot 24 = 3500$  шт.
- штифтів  $1,1 \cdot 130 \cdot 24 = 3500$  шт.

*Підпірне скло і свинцеві жолобки.* У кожному елементі СК-24 2 підпірних скла 540×110 мм і 2 скла 540×150 мм. Товщина скла 5-6 мм. Під підпірне скло для виключення продавлення свинцевого обкладання підкладаються 2 свинцевих жолобки розміром 17×8 мм довжиною 265 мм (табл. 7.2).

Всього на батарею з запасом 5% необхідно:

- підпірного скла 540×110 мм  $1,05 \cdot 130 \cdot 2 = 275$  шт.
- підпірного скла 540×150 мм  $1,05 \cdot 130 \cdot 2 = 275$  шт.
- свинцевих жолобків  $265 \times 17 \times 8$  мм  $1,05 \cdot 130 \cdot 2 = 275$  шт.

*Скляні трубки і гумові муфти.* На кожний елемент СК-24 потрібно 8 скляних трубок довжиною 550 і діаметром 15-16 мм і 8 гумових муфт (табл. 7.2).

Всього на батарею з запасом 5% необхідно:

- скляних трубок  $1,05 \cdot 130 \cdot 8 = 1100$  шт.
- гумових муфт  $1,05 \cdot 130 \cdot 8 = 1100$  шт.

*Сполучні смуги.* При акуратному демонтажі всі демонтовані смуги і кабельні наконечники можуть бути використані повторно. Однак деяка кількість цих деталей повинна бути в наявності. При їх замовленні слід керуватися табл. 7.4 та рис. 7.4 і 7.5.

*Ізолятори.* Для елементів СК-24 потрібні 4 ізолятори розміром 70×60×25 мм (табл. 7.5, рис. 7.1). При використанні демонтованих слід вибраковувати ізолятори з непаралельними площинами, з тріщинами і великими пузирями.

У запасі слід мати 2-3%.

*Акумуляторні баки* повинні бути замовлені точно за розмірами, наведеними в табл. 7.5. При недотриманні цих розмірів (при великому плюсовому допуску) не вдасться дотриматися відстані між елементами. При великому мінусовому допуску не вдасться розмістити пластини. Для приготування електроліту знадобляться сірчана акумуляторна кислота і дистильована вода (або конденсат відповідної якості).

Загальна кількість електроліту для заливки батареї складе:

$a \times 130 = 45 \times 130 = 5850$  л електроліту питомої ваги 1,18, де  $a = 45$  л – кількість електроліту в одному елементі СК-24 (табл. 7.6).

Для приготування 1 л електроліту питомої ваги 1,18 потрібно 0,172 л сірчаної акумуляторної кислоти питомої ваги 1,83 і 0,862 л дистильованої води. Тобто на створення електроліту необхідно:

- сірчаної акумуляторної кислоти  $0,172 \cdot 5850 = 1006$  л;
- дистильованої води  $0,862 \cdot 5850 = 5042$  л.

Враховуючи неминучі втрати електроліту, можливі витрати на доливання при формуванні та витрати кислоти на інші потреби (нейтралізація після луження сепараторів та ін.), округляємо кількість кислоти до 1200 л або приблизно 2200 кг.

Враховуючи витрати на споліскування посудин, витрати дистильованої води потрібно планувати в розмірі 5500 л і підготувати відповідні ємності.

Для обкладання дерев'яних баків потрібен листовий свинець. Обкладання елемента СК-24 при товщині листа 1,55 мм важить 15 кг. Вага обкладання 133 баків (3 бака запасних)

$$15 \times 133 = 1995 \text{ кг}$$

Враховуючи втрати при розкрої, витрати свинцю на пайку обкладання необхідно передбачити приблизно 2200 кг листового свинцю товщиною 1,55 мм. При застосуванні листового свинцю іншої товщини кількість свинцю потрібно збільшити пропорційно збільшенню товщини. Для пайки пластин знадобляться свинцеві прутки. На пайку пластин в одному елементі СК-24 необхідно приблизно 0,5 кг паяльних прутків, на всю батарею – 65-70 кг.

Таблиця 7.5 – Дерев'яні баки, підпірне скло, свинцеві жолобки, гумові муфти й ізолятори для акумуляторів типу С і СК № 14-72

| № акумулятора | Внутрішні розміри бака, мм |         |        | Зовнішні розміри бака, мм |         |        | Вага свинцевого обкладання, кг | Підпірне скло довжиною 540 мм, товщиною 5-6 мм |            | Свинцеві жолобки 17×11 мм |       | Число гумових муфт (рис.7.3, б) | Ізолятори |                  |
|---------------|----------------------------|---------|--------|---------------------------|---------|--------|--------------------------------|--|------------|---------------------------|-------|---------------------------------|-----------|------------------|
|               | ширина                     | довжина | висота | ширина                    | довжина | висота |                                | число  | довжина    | число                     | форма |                                 | число     | форма (рис. 7.1) |
| 14            | 211                        | 326     | 538    | 265                       | 380     | 585    | -                              | 2  | 110        | 2                         | 315   | 4                               | 4         | б                |
| 16            | 211                        | 351     | 538    | 265                       | 405     | 585    | -                              | 2  | 180        | 2                         | 350   | 4                               | 4         | б                |
| 18            | 211                        | 401     | 538    | 265                       | 455     | 585    | -                              | 2<br>2   | 110<br>210 | 2                         | 390   | 4                               | 4         | б                |
| 20            | 211                        | 436     | 538    | 265                       | 490     | 585    | -                              | 2<br>2   | 110<br>260 | 2                         | 425   | 4                               | 4         | б                |
| 24            | 406                        | 276     | 538    | 460                       | 330     | 590    | 15,0                           | 2<br>2   | 110<br>150 | 2                         | 265   | 8                               | 4         | в                |
| 28            | 406                        | 311     | 538    | 460                       | 365     | 590    | 15,8                           | 2<br>2   | 110<br>180 | 2                         | 300   | 8                               | 4         | в                |
| 32            | 406                        | 346     | 538    | 460                       | 400     | 590    | 16,6                           | 2<br>2   | 150<br>180 | 2                         | 335   | 8                               | 4         | в                |
| 36            | 406                        | 386     | 538    | 460                       | 440     | 590    | 17,4                           | 2<br>2   | 150<br>210 | 2                         | 375   | 8                               | 4         | в                |
| 40            | 406                        | 421     | 538    | 470                       | 485     | 595    | 19,5                           | 2<br>2   | 180<br>210 | 2                         | 410   | 8                               | 4         | в                |
| 44            | 406                        | 456     | 538    | 470                       | 520     | 595    | 20,3                           | 2<br>2   | 260<br>180 | 2                         | 445   | 8                               | 4         | в                |
| 48            | 406                        | 496     | 538    | 470                       | 560     | 595    | 21,4                           | 2<br>2   | 260<br>210 | 2                         | 485   | 8                               | 4         | в                |
| 52            | 406                        | 531     | 538    | 470                       | 595     | 595    | 22,2                           | 2<br>2   | 240<br>270 | 2                         | 520   | 8                               | 4         | в                |
| 56            | 406                        | 571     | 538    | 470                       | 635     | 595    | 23,2                           | 2<br>2   | 260<br>290 | 2                         | 560   | 8                               | 4         | в                |
| 60            | 406                        | 606     | 538    | 470                       | 670     | 595    | 24,2                           | 2<br>2   | 260<br>330 | 2                         | 595   | 8                               | 4         | в                |
| 64            | 406                        | 641     | 538    | 470                       | 705     | 595    | 25,1                           | 2<br>2   | 290<br>330 | 2                         | 630   | 8                               | 4         | в                |
| 68            | 406                        | 681     | 538    | 470                       | 745     | 595    | 25,8                           | 2<br>2   | 300<br>360 | 2                         | 670   | 8                               | 4         | в                |
| 72            | 406                        | 716     | 538    | 470                       | 780     | 595    | 27,0                           | 2<br>2   | 330<br>360 | 2                         | 705   | 8                               | 4         | в                |

**Примітки:** 1. до всіх розмірів дерев'яних баків допуск  $\pm 2$  мм;

2. для підпірного скла допуск з висоти  $\pm 4$  мм;

3. вага свинцевого обкладання взятий відносно товщини свинцю 1,5 мм.

Таблиця 7.6 – Вага акумуляторів С і СК, кількість електроліту

| № акумулятора | Вага акумулятора без електроліту, кг | Кількість електроліту питомої ваги 1,18, л | № акумулятора | Вага акумулятора без електроліту, кг | Кількість електроліту питомої ваги 1,18, л |
|---------------|--------------------------------------|--|---------------|--------------------------------------|--|
| 1             | 8,6                                  | 3,0  | 24            | 137,6                                | 45,0                                       |
| 2             | 14,1                                 | 5,5  | 28            | 158,8                                | 51,0                                       |
| 3             | 18,5                                 | 8,0  | 32            | 176,9                                | 57,0                                       |
| 4             | 22,5                                 | 9,5  | 36            | 196,6                                | 64,0                                       |
| 5             | 28,0                                 | 11,0                                       | 40            | 214,6                                | 69,0                                       |
| 6             | 31,9                                 | 15,5                                       | 44            | 233,5                                | 75,0                                       |
| 8             | 41,9                                 | 14,5                                       | 48            | 233,9                                | 81,0                                       |
| 10            | 51,6                                 | 15,5                                       | 52            | 271,9                                | 87,0                                       |
| 12            | 60,0                                 | 17,5                                       | 56            | 291,6                                | 93,0                                       |
| 14            | 67,7                                 | 19,0                                       | 60            | 311,2                                | 99,0                                       |
| 16            | 78,6                                 | 23,0                                       | 64            | 329,3                                | 105,0                                      |
| 18            | 89,3                                 | 26,0                                       | 68            | 347,3                                | 111,0                                      |
| 20            | 95,0                                 | 36,0                                       | 72            | 368,6                                | 118,0                                      |

**Примітка.** Вага акумуляторів С-14-С-20 включно дана для виконання в скляних посудинах.

#### 7.4 Розбирання акумуляторів

При виведенні акумуляторної батареї в капітальний ремонт вона заздалегідь розряджається на 85-90% ємності режимом 10-годинного розряду. Розряд необхідний для забезпечення успішного зберігання демонтованих негативних пластин. Після цього батарея відключається від зарядного і підзарядного агрегатів і розрядних шин.

Демонтаж ведеться поелементно. Виймають свинцеві пружини і кінцеві скляні трубочки. Свинцерізом вирізають негативні пластини (правильний спосіб різання показаний на рис. 7.6.)

Пластини після виїмки ретельно переглядають і придатні до подальшого використання вміщують в запасні акумуляторні посудини, заповнені дистильованою водою. Пластини підвішують вушками на борти посудин. У разі використання дерев'яних баків, обкладених свинцем, на борти баків, щоб уникнути пошкодження свинцевого обкладання, підкладаються дерев'яні планки. Потім видаляється сепарація. Сепарація, як правило, для подальшого використання не застосовується. Після видалення сепарації вирізають позитивні пластини. Пластини переглядають і придатні поміщають в запасні акумуляторні посудини (окремо від негативних), заповнені дистильованою водою.

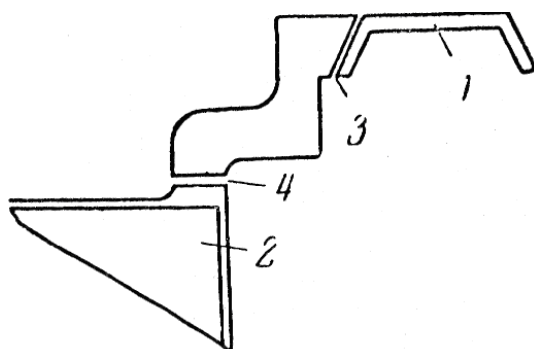


Рис. 7.6 – Вирізання пластин з елемента:

1 – сполучна смуга; 2 – пластина; 3 – правильний розріз; 4 – неправильний розріз.

Сортування пластин значно спрощується, якщо перед ремонтом було проведено обстеження батареї допоміжним кадмієвим електродом. Керуючись позначками на посудинах, непридатні пластини можна вилучати без детального огляду. При огляді позитивних пластин повинні безумовно бракуватися пластини з розривами основи, з сильно роз'їденою нижньою половиною, а також ті, що втратили механічну міцність. Негативні пластини повинні бракуватися при розривах перформанції, випаданні або значній усадці активної маси.

Придатні негативні пластини можна зберігати знеособленими. Придатні позитивні пластини з основних і кінцевих елементів рекомендується зберігати окремо.

Якщо аналіз електроліту, зроблений перед ремонтом, показав придатність його для повторного використання, то він зливається в бутлі. Шлам видаляється з посудин. Після зливу електроліту і видалення шламу посудини знімають зі стелажів, промивають і просушують. Промивають і просушують ізолятори. Стелажі нейтралізують розчином соди і ретельно протирають сухою ганчіркою.

Якщо площа, займана стелажима, необхідна для виконання ремонтних робіт, то частина стелажів демонтується. При ремонті батареї частинами (групами) після розряду вирізається частина батареї. Вирізнана частина батареї замінюється перемичкою. Після включення перемички батареї дають нормальний заряд. Виведені в ремонт елементи розбираються, як вказано вище. При ремонті батареї з повною заміною всіх пластин, природно, відпадають всі операції зі збереженням і підготовкою демонтованих пластин.

### 7.5 Підготовка пластин та інших деталей до збирання акумуляторів

Для зручності ремонтних операцій з пластинами, а також за умовами техніки безпеки краще мати справу з пластинами, добре відмитими від кислоти. Тому вода в посудинах, де містяться демонтовані придатні пластини, повинна кілька разів замінюватися. Після промивки вода з посудин видаляється і воді дають стекти з пластин.

Якщо виявляється, що негативні пластини починають грітися, їх промивку



потрібно продовжити.

Позитивні пластини рихтують на гладкоструганій дошці, металевою щіткою до блиску зачищають вушка і складають у стопки. Негативні пластини очищують від наростів, зачищають вушка до блиску і пластини також складають у стопки. Ретельне очищення вушок пластин обов'язкове, оскільки від цього залежить якість подальшого паяння пластин.

Паралельно з пластинами виправляються їх сполучні смуги; бічні сторони повинні бути також ретельно зачищені. Пружини, зігнуті при демонтажі, виправляють і очищають з них нарости й оксиди.

Для акумуляторів в дерев'яних баках необхідно провести ревізію самих баків, свинцевих обкладань та іншої гарнітури. Свинцеві обкладання виймаються з баків і ретельно оглядаються. Всі виявлені свищі та підозрілі місця ретельно пропаяють. Якщо свищів в обкладанні не виявлено, а всередині бака є сліди протікання електроліту, обкладання наповнюється водою і повторно оглядається.

Баки зі слідами протікань електроліту нейтралізують розчином соди і просушують. Справне і відремонтоване обкладання вкладається в дерев'яні баки.

Повинне бути промите і підібране за висотою підпірне скло; в одному елементі все підпірне скло повинне бути строго однієї висоти. Очищаються від шламу і промиваються свинцеві жолобки. Промиваються кінцеві скляні трубки і гумові муфти. У нових пластин також зачищаються вушка.

## **7.6 Установка акумуляторних посудин і баків**

До моменту установки посудин стелажі повинні бути відремонтовані й у випадках необхідності забарвлені кислототривкою фарбою. За допомогою рівня перевіряється горизонтальність стелажів уздовж лаг і упоперек.

На верхній площині поздовжніх брусів стелажів (лаг) за допомогою дерев'яних шаблонів розставляються ізолятори (рис. 7.1). Тип і кількість ізоляторів визначаються типом акумулятора (табл. 7.2 і 7.5).

Ізолятори перед установкою злегка змащуються вазеліном. Дуже важливо для надійної роботи акумуляторів, щоб ізолятори були поставлені посередині лаг стелажу і якомога ближче до вертикальної стінки посудини. Ізолятори розташовують широкою основою до посудини. На всі ізолятори накладають по одній свинцевій або вініпластовій прокладці завтовшки 0,5-1 мм. Діаметр прокладки повинен бути рівний більшому діаметру ізолятора. Після цього на ізолятори встановлюють акумуляторні посудини або баки.

Для надійної роботи акумуляторів необхідно, щоб краї скляних посудин і верхні обрізи підпірного скла в дерев'яних баках були строго горизонтальними, а акумулятори не хиталися. За необхідності хитавиця елементів і негоризонтальність усуваються підкладкою на ізолятори додаткових свинцевих або вініпластових прокладок.

Скляні посудини і баки встановлюють по шнурку строго в одну лінію.

Відстань між скляними посудинами в ряду повинна бути рівна: для елементів С-1 (СК-1) – С-5 (СК-5) – 30 мм, для елементів С-6 (СК-6) – С-20 (СК-20) – 65 мм.

Між дерев'яними баками повинно бути витримано відстань 30 мм. Недотримання цих відстаней призведе до утрудненої пайки пластин. Верхня кромка свинцевого обкладання в акумуляторів у дерев'яних баках, щоб уникнути попадання електроліту на дерев'яну стінку бака, відвертається коміром і виходить за межі бака. Тому при установці дерев'яних баків потрібно суворо стежити за тим, щоб обкладання сусідніх баків не торкалося один одного.

Баки акумуляторів С-60 (СК-60) і вище для запобігання випукування стінок відділяються один від одного ізолятором заввишки 30 мм.

## 7.7 Складання елементів

Перед початком складання у пластин повинні бути зачищені до блиску вушка. Пластини повинні бути доставлені на місце складання і розкладені комплектами проти кожного елемента. У кожному комплекті повинні бути і допоміжні деталі: свинцеві пружини, гумові муфти, скляні трубки.

Для складання елементів з фанерною сепарацією необхідно заготовити достатню кількість складальних шаблонів і дерев'яних рейок, планок для підмостки під шаблони і круглих паличок для тимчасової установки замість сепараторів. Повинні бути підготовлені та зачищені до блиску сполучні смуги без наконечників і з наконечниками (рис. 7.4. і 7.5, табл. 7.3 і 7.4).

*Елементи в скляних судинах зі склянню сепарацією.* Бічну пластину підвішують біля краю посудини так, щоб сторона пластини, що не має активної маси, була звернена до скла. На верхню кромку пластини надягають дві гумові муфти (рис. 7.3, табл. 7.2). Підвішують негативні пластини і другу бічну. Потім підвішують першу позитивну пластину між першою бічною і негативною і з обох боків позитивної пластини ставлять скляні трубочки. Трубочки повинні входити в прорізі приливів у верхній кромці негативних пластин. У наступний проміжок вставляється наступна позитивна пластина і т.д.

Після закінчення підвіски пластин між стінкою посудини і другою бічною пластиною вставляються дві свинцеві пружини (рис. 7.2, табл. 7.2). Перевіряється вертикальність установки трубочок. Елемент готовий для паяння.

*Елементи в скляних посудинах з фанерною сепарацією.* Збірка елементів ведеться на шаблонах високої точності, оскільки відстані між пластинами для забезпечення безперешкодної установки сепараторів повинні бути абсолютно однаковими.

Для елементів С-4 (СК-4)-С-20 (СК-20) шаблони однакові як для установки позитивних, так і негативних пластин. Для елементів великих номерів шаблони різні.

Для зазначених акумуляторів застосовуються шість розмірів шаблонів:

Шаблон № 1

Для елементів С (СК) 4, 6, 8

Шаблон № 2

С (СК) 5, 10, 12, 14

Шаблон № 3

С (СК) 16, 18, 20

Шаблон № 4

С (СК) 24, 28, 32

Шаблон № 5

С (СК) 36, 40, 44, 48, 52,  
56, 60, 64

Шаблон № 6

С (СК) 68 і вище.

Дані про шаблони наведені на рис. 7.7 і таблиці 7.7.

На краї скляних посудин з обох боків кладуть дерев'яні рейки завдовжки 2-2,5 м, шириною 30-40 мм і заввишки 10 мм.

На ці рейки над кожним проміжком між посудинами кладуть дерев'яні планки. На планки накладають шаблони для позитивних і негативних пластин, на шаблони сполучну смугу (рис. 7.8).

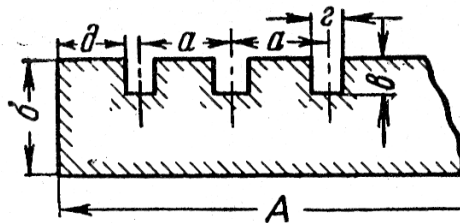


Рис.7.7 - Шаблон для паяння пластин

Таблиця 7.7 – Розміри шаблонів

| Розмір | Розміри шаблонів для пайки пластин, мм |     |     |     |     |     |     |     |      |  |
|--------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|--|
|        | 1                                      | 2   | 3   | 4   |     | 5   |     | 6   |      |  |
|        | ±                                      | ±   | ±   | +   | -   | +   | -   | +   | -    |  |
| A      | 195                                    | 315 | 415 | 310 | 345 | 610 | 640 | 980 | 1015 |  |
| a      | 39                                     | 39  | 39  | 37  | 37  | 37  | 37  | 37  | 37   |  |
| b      | 30                                     | 30  | 30  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40   |  |
| в      | 10                                     | 10  | 10  | 15  | 15  | 15  | 15  | 15  | 15   |  |
| z      | 9                                      | 9   | 9   | 10  | 8   | 10  | 8   | 10  | 8    |  |
| δ      | 15                                     | 15  | 15  | 20  | 20  | 20  | 20  | 20  | 20   |  |

**Примітка.** (+) — для установки позитивних пластин;  
(-) — для установки негативних пластин;  
(±) — для установки пластин обох полярностей.

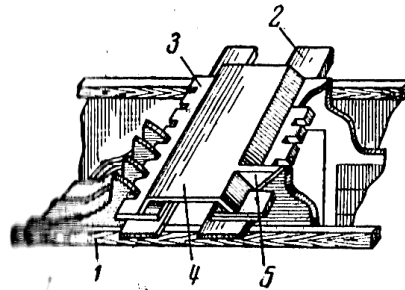


Рис. 7.8 – Підготовка елемента до пайки пластин:

1 – рейка, 2 – планка, 3 – шаблон, 4 – сполучна смуга, 5 – місце спайки

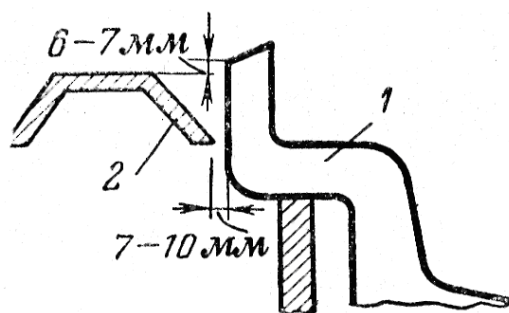


Рис. 7.9 – Взаємне розташування хвоста пластини (1) і сполучної смуги (2)

Загальна висота підмостки (рейка, планка, шаблон) повинна бути така, щоб верхня площина сполучної смуги була нижча за кінець вушка на 6-7 мм. Відстань від нижнього краю смуги до вертикальної кромки вушка з обох боків смуги 7-10 мм (рис. 7.9). Після цього підвішують пластини. Першою підвішується бічна пластина з гумовими муфтами на верхній кромці. Потім підвішують всі позитивні пластини. Після цього підвішують всі негативні та другу бічну пластини. Вушка пластин повинні щільно входити (повністю) у вирізи шаблонів і встановлюватися строго паралельно один одному.

Після установки всіх пластин між ними замість сепараторів тимчасово встановлюються дерев'яні палички великого діаметру. Для цих паличок можна використовувати будь-яку суху деревину. Елемент готовий до паяння.

*Елементи в дерев'яних баках, викладених свинцем.* На дно бака до стінок, перпендикулярних осі стелажів, поміщають свинцеві жолобки (табл. 7.5). У кожний з жолобків встановлюють по два скла різної довжини і притуляють їх до стінок. Допуск за висотою для підпірного скла  $\pm 4$  мм. Але в кожному елементі висота всього скла повинна бути однаковою. Підвіску пластин на підпірне скло починають з бічної пластини. Між цією пластиною і стінкою бака встановлюють скляні трубки діаметром 15,5 і завдовжки 550 мм з надягненими на їх верхні кінці гумовими муфтами (рис. 7.10).

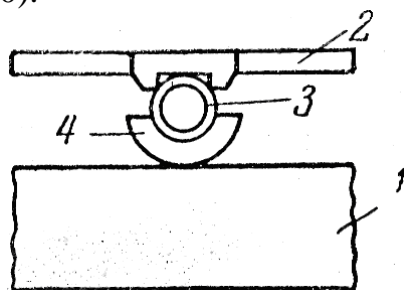


Рис. 7.10 – Ізоляція бічних пластин в акумуляторах у дерев'яних баках:

1 – стінка бака, 2 – бічна пластина, 3 – скляна трубка, 4 – гумова муфта

В елементах С-14 (СК-14)-С-20 (СК-20) встановлюють дві скляні трубки, у великих елементах – чотири трубки. Після цього в порядку, вказаному вище, підвішується решта пластин і встановлюються тимчасові палички.

## 7.8 Гази, що застосовуються для паяння

До недавнього часу паяння акумуляторних пластин переважно проводилося водневим полум'ям. Водень володіє високою відновною здатністю. Тому в процесі паяння не виникає окислення і пайка виходить чистою. Водневе полум'я дуже концентроване, тому можна працювати гострим струменем; нагріваються тільки потрібні ділянки, паяння проходить швидко і легко.

Монтажні та спеціалізовані ремонтні організації, як правило, користувалися балонним воднем. Експлуатаційні організації в основному проводили паяння воднем, що виробляли самі за рахунок розкладання цинку сірчаною кислотою. Апарати для виробництва водню прості у виготовленні й обслуговуванні.

На відміну від роботи з балонним воднем, до працюючих на водні з апарату не висувуються вимоги проходження спеціального навчання і складання іспитів. Основним недоліком апаратів для добування водню є мала продуктивність і витрата дефіцитного цинку. Апарати великої продуктивності, що працюють на залізній стружці, доступні тільки крупним організаціям.

Останнім часом для електромонтажних робіт (паяння, зварювання) широко застосовується газ пропан-бутан. Основною перевагою пропан-бутану є можливість проведення ряду паяльних робіт без балонного кисню. При цьому використовуються горілки, до яких підводиться тільки пропан-бутан, а кисень, необхідний для горіння пропан-бутану, поступає в горілку з повітря. При використанні малих балонів редуктор не потрібний. Виходить дуже проста компактна установка. На рис. 7.11 показаний переносний пристрій для паяння пропан-бутаном. Пристрій містить два балони пропан-бутану ємністю 1 л кожен, шланг і горілку. Маса пристрою всього 8 кг з чемоданом.

Проте такий спосіб паяння непридатний для пластин акумуляторів. Пропан-бутан, згораючи в кисні повітря, утворює порівняно широкий факел, що неприпустимо при паянні пластин. Тому монтажні організації при паянні пластин пропан-бутаном застосовують балонний кисень.

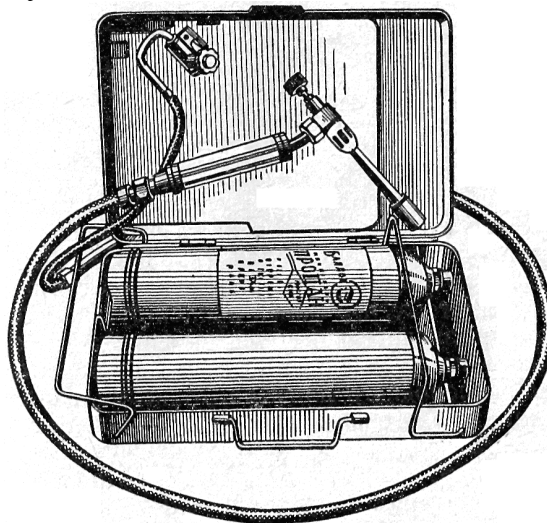


Рис. 7.11 – Переносний пристрій для паяння пропан-бутаном типу ВСП-1

Для пониження тиску кисню до робочого значення на балон ставиться редуктор (наприклад, редуктор РК-53 з регулюванням тиску від 1 до 15 кг/см<sup>2</sup>). Пропан-бутан зручніше брати в малих балонах (1 або 4 л). Це дозволяє обійтися без редуктора на газі. Ряд монтажних організацій для паяння пластин пропан-бутано-кисневим полум'ям використовує горілки СУ-48, ГЗУ-2-62. Найбільш досконала у температурному відношенні горілка «Уфа».

Із газороздавальних станцій пропан-бутан відпускається в балонах ємністю 25-55 л при надмірному тиску 16 атм. Розлив у малі балони проводиться організацією-одержувачем своїми силами. Для цього організація повинна мати складну розливну станцію зі спеціально навченим персоналом. Таку станцію доцільно мати організації з постійною великою витратою газу і постійною роботою з паяння пластин. Тому якщо в організації-власника акумуляторної батареї немає потреби в пропан-бутані низького тиску для інших цілей, то тільки для акумуляторного господарства заводити таку установку не вигідно.

Застосувавши редуктор типу РД-1, можна з перерахованими вище горілками використовувати пропан-бутан з балонів з тиском 16 атм. Редуктор РД-1 має межі регулювання робочого тиску від 0,05 до 0,5 кг/см<sup>2</sup>; пропускна спроможність при тиску 0,5 кг/см 5 м<sup>3</sup>/год.

При використанні пропан-бутанового полум'я для паяння пластин слід мати на увазі, що пропан-бутану властива відносно мала (пропан – 0,820 м/сек, бутан – 0,311 м/сек) швидкість розповсюдження полум'я. Це призводить до того, що факел пропан-бутано-кисневого полум'я значно більше факела воднево-кисневого полум'я і полум'я концентроване менш воднево-кисневого полум'я. Максимальна температура полум'я у пропан-бутану також нижча, і у факелі пропан-бутану немає такого чітко вираженого білуватого язичка («жала»), як у водню. Тому хороше паяння пропан-бутаном виходить тільки після тривалого тренування поза акумулятором.

Для з'єднання горілки з кисневим балоном застосовується гумово-тканинний шланг на робочий тиск до 10 атм за ГОСТ 8318-57 з внутрішнім діаметром 9,5 або 13 мм з трьома прокладками. Для подачі пропан-бутану береться гумово-тканинний шланг за тим самим ГОСТом з внутрішнім діаметром 9 або 12 мм, але з двома прокладками. З умов зручності при роботі з кисневими і пропан-бутановими балонами великої ємності довжина шлангів не повинна бути менше 8 м.

При паянні пластин у приміщенні працюючої батареї балони повинні встановлюватися в іншому приміщенні. Брати шланги довше 20 м не рекомендується, оскільки при цьому в них помітно втрачається тиск.

Цілісність шлангів повинна періодично перевірятися подачею випробувального тиску: 10 атм для кисневих шлангів і 3 атм для пропан-бутанових шлангів. Випробувальний тиск тримають 10 хв. За цей час не повинен падати тиск у шлангах.

При виявленні пошкодження шланга заклеювати його або замотувати місце пошкодження липкою стрічкою не дозволяється. Пошкоджене місце вирізають, а шланг з'єднують двостороннім ніпелем із кріпленням шланга на ніпелі хомутиками

(два на кожен кінець). З'єднання відрізком гладкої труби не допускається. При роботі шланг з гладкої труби сповзає. Не можна застосовувати для подачі кисню шланги, що використовувалися раніше для подачі повітря до пневматичного інструменту. Такі шланги забруднені всередині маслом з компресора і при поданні кисню можуть загорітися. Нові шланги після отримання необхідно продути для видалення з них тальку, щоб уникнути засмічення горілок. При кожному підключенні шлангів, що не були якийсь час в роботі, перед приєднанням до горілки слід продути робочим газом: кисневий – киснем, пропан-бутановий – пропан-бутаном.

## **7.9 Пайка пластин**

При необхідності паяння на елементах працюючої батареї необхідно дотримуватися наступних обов'язкових вимог:

1. Паяння починати не раніше, ніж через 2 години після закінчення заряду або припинення підзаряду батареї.

2. Під час паяння акумуляторне приміщення повинне безперервно вентилюватися.

Для паяння пластин повинні бути приготовані паяльні прутки з м'якого свинцю. Ряд організацій для паяння негативних пластин застосовує паяльні прутки зі свинцю з домішкою сурми. При паянні застосовуються спеціальні паяльні щипці (рис. 7.12). Паяльних щипців потрібно мати не менше, а краще три-чотири. Губками щипців охоплюють вушко пластини, що припаюється, так, щоб скошені краї губок прилягали до бічних скосів сполучної смуги. При цьому утворюється простір (форма), що обмежується губками щипців, вушком пластини і скосом смуги. Форма при паянні заповнюється розплавленим свинцем, що створює з'єднання пластини зі смугою.

На рис. 7.13 показані тільки одні паяльні щипці, на практиці для прискорення роботи ставлять двоє або троє щипців. Це дозволяє не чекати для звільнення щипців затвердіння паяння. Можна, не гасячи полум'я, переходити на другі щипці, а потім на треті. До заливки форми паяльним свинцем слід добре прогріти паяльні щипці і вушко пластини. Паяння починають з вушка, а не з тонкої сполучної смуги, яку можна пропалити наскрізь. Вушко пластини трохи оплавлюють і в цей момент подають в полум'я паяльний пруток. Горілку тримають в правій руці, паяльний пруток – в лівій. Розплавлений свинець з вушка пластини і паяльного прутка, з'єднуючись зі свинцем сполучної смуги, повністю заповнює форму. На рис. 7.14. показано, яким повинне бути місце спайки пластини зі смугою.

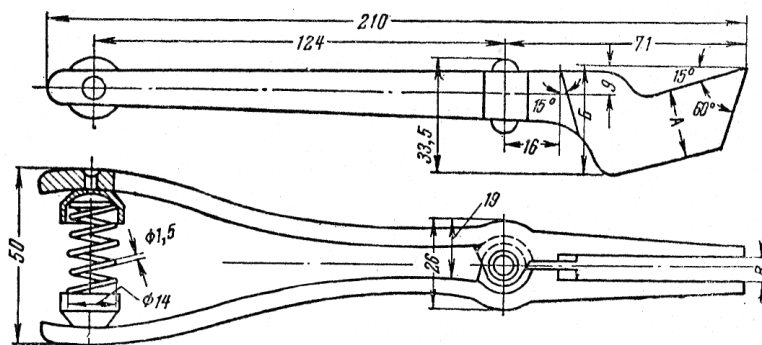


Рис. 7.12 – Паяльні щипці

Таблиця 7.8 – Розміри губок паяльних щипців, мм

| Тип щипців               | А  | Б  |
|--------------------------|----|----|
| Для пластин И-1; 1/2 И-1 | 12 | 24 |
| Для пластин И-2; 1/2 И-2 | 16 | 26 |
| Для пластин И-2; 1/2 И-4 | 21 | 32 |

Розмір В береться за товщиною вушка пластини.

При хорошому паянні розплавлений свинець повинен представляти одне ціле зі смугою і вушком. Це досягається тим, що під час паяння не дають застигати свинцю оплавлених частин, не допускаючи одночасно затримки полум'я на одному місці.

Коли паяння однієї смуги закінчене, розбирають дерев'яні планки, видаляють шаблони. Виступи вушок зрізують свинцерізом. Зріз для додання гладкості обробляють полум'ям.

Якість паяння в значній мірі залежить від положення руки паяльщика. Рука, що тримає горілку, не повинна бути без опори. Паяння краще проводити удвох: помічник паяльщика переставляє щипці, стежить за подачею газу, збирає і розбирає підмостку під шаблони і сполучні смуги.

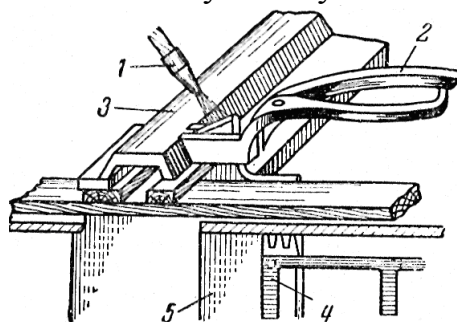


Рис. 7.13 – Положення паяльних щипців під час пайки пластин:

1 – горілка (або февка); 2 – паяльні щипці; 3 – сполучна смуга; 4 – пластина; 5 – скляна посудина

Подачу пропан-бутану і кисню, водню і повітря так регулюють, щоб добиватися максимальної концентрації полум'я і вести паяння найбільш гарячою частиною полум'я.



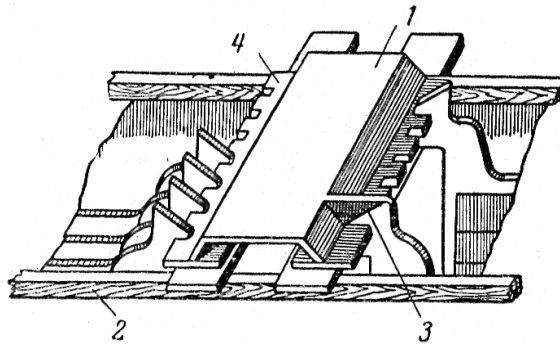


Рис. 7.14 – Вид правильно зробленої пайки  
1 — полоса; 2 — дерев'яний брусок; 3 — місце пайки; 4 — шаблон.

При виконанні паяння не допускаються наступні дефекти:

- а) криво припаяні пластини (кромки пластин не на одному рівні);
- б) перекіс всієї групи;
- в) неоднакові відстані між пластинами;
- г) шаруватість свинцю, раковини у спайці;
- д) протікання свинцю під сполучні смуги і на пластини.

Під час паяння можливе попадання протікань свинцю і ниток паяльного свинцю між пластинами. Це створює в елементах короткі замикання. В елементах у скляних посудинах протікання і нитки виявляються прямим оглядом. В елементах у дерев'яних баках огляд не досягає мети. Для перевірки в цьому випадку використовується високоомний вольтметр, що живиться від батареї сухих елементів. Один затиск вольтметра через батарею приєднується до позитивної (для певного елемента) смуги, інший затиск приєднується до негативної смуги. Відхилення стрілки покаже наявність з'єднання між пластинами різної полярності. Після закінчення паяння всієї батареї перед установкою сепарації перевіряється вся батарея.

Після паяння пластин (можна і паралельно) в наконечники упаюються шини. Шини і наконечники при паянні обігріваються тими ж пальниками. Як припій береться ПОС-40, флюс, стеарин або каніфоль. Щоб в місці спаю не збиралися крапельки конденсату сірчаної кислоти, припій повинен утворити конус. Олов'яний припій руйнується сірчаною кислотою, тому місце спаю шини і наконечника забарвлюється 2 рази кислототривкою фарбою і змащується вазеліном.

### **7.10 Обладнання і технологія пайки пластин воднево-повітряним полум'ям**

Для персоналу, обслуговуючого акумуляторні батареї, паяння пластин не є повсякденною справою. Тому великих навичок в паянні експлуатаційники, як правило, не мають. У ході експлуатації, проте, доводиться проводити паяння при ремонтах, що вимагають вирізки пластин і зворотного упаювання їх, а також паяння розрізаних сполучних смуг. Для такого персоналу простіше освоїти паяння

воднево-повітряним полум'ям. Невдач буде значно менше, ніж при паянні пропан-бутано-кисневим полум'ям.

Як згадувалося вище, якість паяння багато в чому залежить від «твердості» руки паяльщика. Для того, щоб стійко тримати горілку вагою до 1 кг з двома сполученими жорсткими шлангами, потрібні значні зусилля і незвична рука легко стомлюється. При паянні воднем застосовується февка, вагою всього 150 г з одним шлангом. Для неспеціаліста-паяльщика це велика перевага.

При використанні балонного водню застосовують стандартні балони з редукторами, що забезпечують робочий тиск 0,5-1,0 атм. Повітря подається від компресора при тому ж тиску. Шланги від редуктора водневого балона і повітряного компресора приєднуються до паяльного трійника (рис. 7.15).

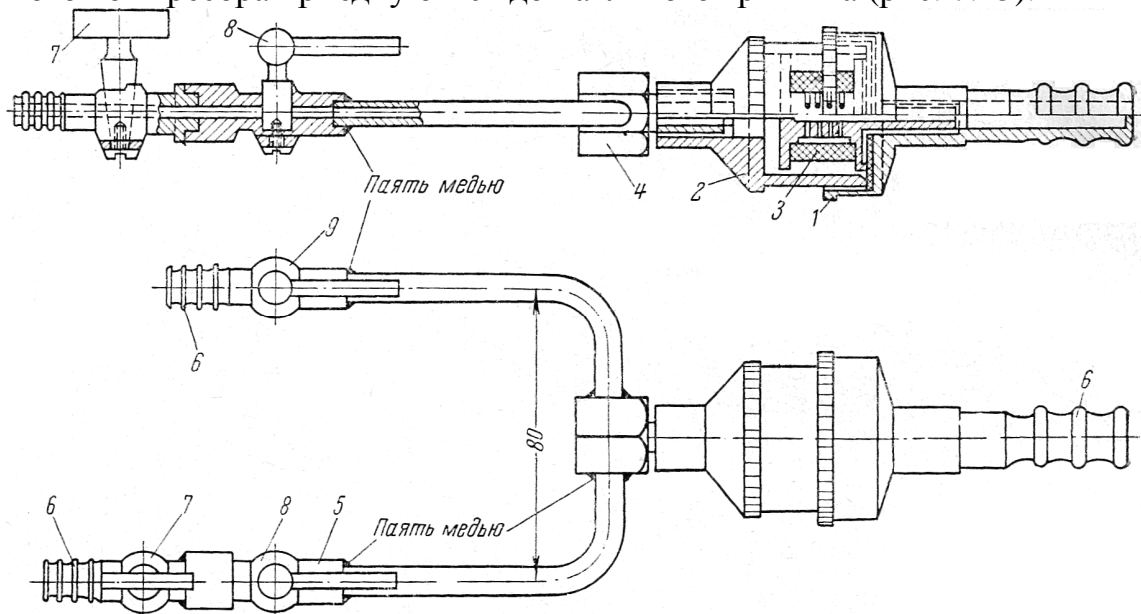


Рис. 7.15 – Паяльний трійник:

- 1 – кришка, 2 – корпус, 3 – сітка, 4 – трійник, 5 – муфта, 6 – ніпель,  
7 – вентиль, що регулює подачу водню, 8 – запірна кран-пробка на повітря

На патрубку для приєднання водневого шланга встановлені запірна кран-пробка 8 і регулюючий подачу водню у февку вентиль 7. На повітряному шлангу встановлена одна кран-пробка.

Для захисту від проникнення полум'я у водневий шланг у трійник уставлений циліндрик 3 з трьох-чотирьох шарів сітки. Для цієї ж мети між водневим редуктором і трійником у водневий шланг врізається водяний затвор. Схема водяного затвора показана на рис. 7.16. До довгого патрубка приєднується шланг з боку редуктора, до короткого – з боку трійника, затвор на три чверті заповнюється водою.

Від трійника відходить шланг, до якого приєднується горілка (февка) (рис. 7.17). До неї додаються три зйомні ніпелі з каналом діаметром 0,5; 1,0 і 1,5 мм.

Підготовка до паяння вимагає виконання ряду операцій. На водневому балоні знімається ковпак. Маховичок запірної кран-пробки балона відкривається на 1/4

обороту, і протягом 1-2 секунд продувається штуцер запірного вентиля. Стояти при цьому потрібно так, щоб струмінь газу, що виходить, був направлений «від себе». Після цього на балон ставиться редуктор (рис. 7.18), до редуктора приєднується шланг. Ослабляється регулювальний гвинт, і поволі відкривається вентиль балона.

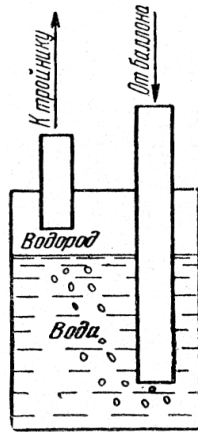


Рис. 7.16 – Схема водяного затвору

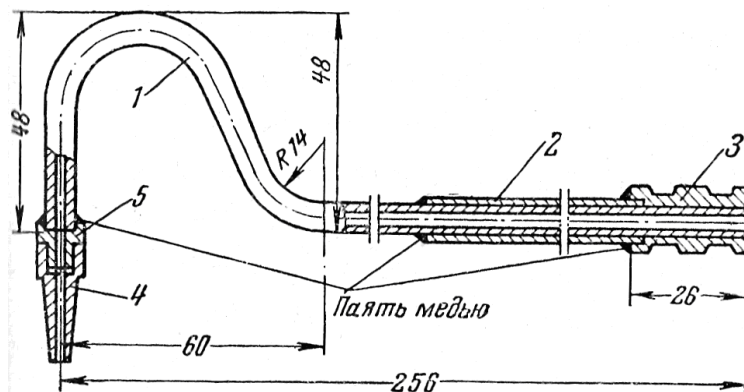


Рис. 7.17 – Февка:

1 – мідна трубка  $\phi^{6/4}$  мм; 2 – мідна трубка  $\phi^{8/6}$  мм довжиною 130 мм;  
3 – муфта; 4 – змінний наконечник; 5 – ніпель

Газ поступає в редуктор; за манометром 1 визначається момент, коли тиск в редукторі зрівнюється з тиском у балоні.

Після того, як стрілка манометра зупиниться, вентиль балона можна відкривати повністю. Обертанням регулювального гвинта 3 редуктора встановлюється і за манометром 2 перевіряється робочий тиск газу. Коли тиск досягне потрібної величини, відкривається вентиль редуктора 4 і пускають газ у трійник.

У трійнику відкривають запірну кран-пробку, і ланцюг редуктор – водний затвор – трійник – февка – шланги продуваються воднем. Запускається компресор, відкривається повітряний кран на трійнику, і продувається шланг.

Пристаюючи до паяння, відкривають в трійнику (рис. 7.15) вентиль 7, кран-пробку 8 і наполовину кран-пробку 9. Запалюють суміш, що виходить з февки, і вентилем 7 і пробкою крана 9 регулюють довжину полум'я так, щоб воно

прийняло форму (рис. 7.19) при загальній довжині 12-15 см.

При правильному співвідношенні кількостей водню і повітря в отворі наконечника февки утворюється голубуватий язичок, «жало» завдовжки 6-8 мм (найгарячіша частина полум'я). Цією точкою полум'я і ведуть плавку хвоста пластини і паяльного прутка. Найвища температура полум'я близько 2 000°C тримається при спалюванні 1 об'єму водню в 2,5 об'ємах повітря.

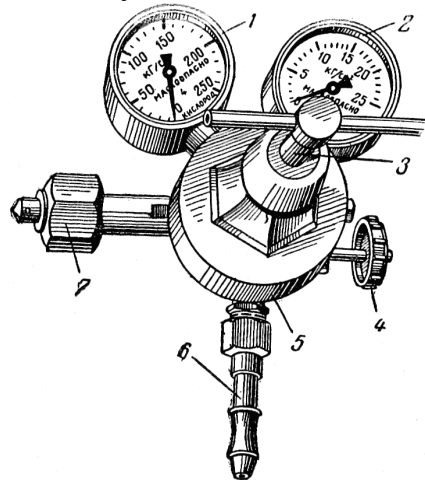


Рис. 7.18 – Редуктор:

1 – манометр високого тиску; 2 – манометр робочого тиску; 3 – регулювальний гвинт; 4 – запірний вентиль; 5 – корпус; 6 – вихідний ніпель.

Для перевірки правильності співвідношення водень-повітря кінцем жала торкаються до шматка свинцю. Якщо свинець швидко плавиться і на поверхні не утворюється плівки оксидів, співвідношення правильне. Утворення оксидів свідчить про надлишок повітря. Кран-пробкою 9 (рис. 7.15) зменшують подачу повітря. Водневим полум'ям свинець плавиться дуже швидко. Необхідно стежити за тим, щоб обидві частини, що спаюються, нагрівалися рівномірно; для цього полум'ям поперемінно торкаються обох деталей. Февку тримають у правій руці, паяльний пруток – у лівій. У міру потреби пруток вводять в полум'я, і розплавлений свинець прутка, стікаючи, заповнює форму, утворену паяльними щипцями.

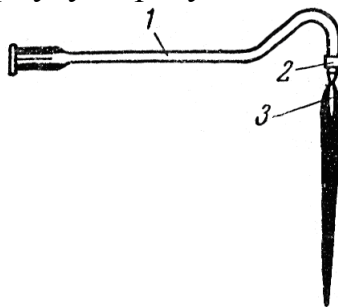


Рис. 7.19 – Паяльне полум'я:

1 – февка, 2 – ніпель, 3 – жало полум'я

При короткочасному припиненні паяння полум'я гасять, закриваючи кран-пробку 7. При тривалих перервах, крім того, закриваються запірні вентилі

редуктора, водневого балона і зупиняється повітряний компресор.

При використанні для паяння водню, що одержується з водневого апарату, а повітря з повітрозбірника, при підготовці паяння проводять наступні операції. При закритій пробці крана 9 на трійнику (рис. 7.15) піднімають внутрішній циліндр повітрозбірника, чим запасається певний об'єм повітря. Корзина з цинком опускається в бак водневого апарату, заповнений до половини розчином сірчаної кислоти, і корзина накривається дзвоном із приєднаним шлангом (запірна кран-пробка 8 і регулюючий вентиль 7 повинні бути відкриті). Дзвін заклинюється. Через 3-4 хвилини водень витіснить повітря, поміщене в дзвоні, водяному затворі та шлангах. Відкривається повітряна кран-пробка 9, запалюється суміш на виході з февки, і полум'я регулюється, як вказано вище.

При перервах паяння закривається на трійнику кран-пробка 8. Тиск водню під дзвоном збільшиться, кислота буде витіснятися в бак. Цинк оголиться, і утворення водню припиниться. Апарат автоматично вимкнеться з роботи.

При відкритті пробки крана 8 тиск в дзвоні знизиться, кислота проникне під дзвін, цинк покриється кислотою, і апарат включиться в роботу.

При тривалих перервах паяння з апарату виймають корзину з цинком, цинк промивають, сушать і зберігають для наступного використання.

Апарат вимагає нової зарядки після витрачення цинку і припинення подачі водню. На 1 кг цинку витрачається приблизно 8 л розчину технічною сірчаної кислоти питомої ваги 1,20-1,25. Повітряний циліндр повітрозбірника під час роботи по мірі витрати повітря опускається, і його доводиться в міру необхідності піднімати.

Щоб уникнути попадання водню в повітряну систему, не можна піднімати повітряний циліндр повітрозбірника при відкритій пробці крана 8, тим більше при палаючому на февці водні.

### **7.11 Повна заміна сепарації**

Повна заміна сепарації в акумуляторах потрібна в наступних випадках:

1. *Сепаратори почорніли і втратили механічну міцність.* Це походить або від природного зносу (великий термін служби), або від передчасного зносу, викликаного надмірно високою температурою електроліту або його підвищеною густиною. Такі сепаратори можуть бути причиною коротких замикань або сприяти їм.

2. *При заміні пластин.* Після заміни пластин в акумуляторі йому дають формувальний заряд. Застосування свіжої сепарації зменшує знос негативних пластин при цьому заряді.

3. *При глибокій сульфатації акумулятора.* Сульфатовані сепаратори мають різко понижену пористість, що обумовлює утруднення в дифузії електроліту. Підвищений електричний опір таких сепараторів призводить до зниження напруги при розрядах великими струмами.

4. *При деяких забрудненнях електроліту шкідливими домішками.* При

забрудненні електроліту марганцем, наприклад, сепаратори вибілюються і різко знижують пористість.

5. При виявленні усадки активної маси негативних пластин. Під час роботи акумуляторів з дерев'яної сепарації в електроліт виділяються органічні речовини, що поглинаються губчастим свинцем негативних пластин. Ці речовини перешкоджають ущільненню губчастого свинцю й уповільнюють усадку активної маси негативних пластин. При тривалій роботі сепарації запас цих речовин виснажується. Установленням свіжої сепарації можна припинити подальшу усадку активної маси і зберегти ємність негативних пластин.

Коли в акумуляторі замінена вся сепарація, перші 2-3 заряди слід проводити на 10% довше. Заміна одиничних сепараторів проводиться за потребою.

### 7.12 Установка сепараторів в акумулятори

На сепаратори для акумуляторів С-1–С-20 (СК-1–СК-20) надягають 2 крайніх палички, на сепаратори для акумуляторів С-24–С-148 (СК-24–СК-148) – 4 палички: 2 крайні та 2 середні (рис. 7.20).

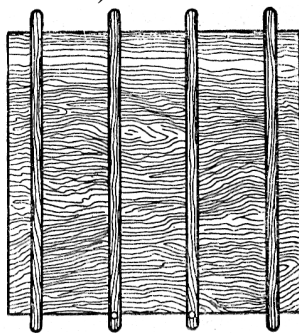


Рис. 7.20 – Сепаратор для акумулятора С(СК)-24 і вище

Крайні палички надягають на сепаратори до установки їх в акумулятор. Точність установки паличок перевіряється за шаблоном (рис. 6.12). Відстань між крайніми паличками повинна точно відповідати відстаням між виїмками на вушках негативних пластин.

Середні палички С-24–С-148 (СК-24–СК-148) надягають після установки сепараторів в акумулятори. Між паличками витримують однакову відстань. Сепаратори підвішують на ебонітових штифтах, вставлених у верхні кінці паличок.

Не можна встановлювати сепаратори задовго до заповнення акумулятора електролітом. Сепаратори можуть пересохнути. Тому слід установку сепараторів проводити не раніше, ніж за 2-3 години до заповнення електролітом. У правильно зібраний акумулятор сепаратори встановлюються без зусиль, оскільки діаметр сухої палички ( $8,5 \pm 0,5$  мм) менше зазору між пластинами. Після розбухання в електроліті палички щільно притискаються пластинами. При суцільній заміні сепараторів в батареї, яка працює, якщо в ній немає сильно покороблених пластин, батарею необхідно розрядити до 1,8 В на елемент. Після цього знімають пружини в елементах С-1–С-20 (СК-1–СК-20). В елементах С-5 (СК-5), С-8 (СК-8) і С-12

(СК-12) вирізають по одній бічній пластині та підвішують їх в посудину з електролітом. В елементах С-24–С-148 (СК-24–СК-148) знімаються кінцеві скляні трубочки. Загостреною дерев'яною дощечкою злегка розсовують пластини. Обережно за палички витягують стару сепарацію.

Якщо немає необхідності у відкачуванні шламу, то замість витягнутої старої сепарації вставляється нова. Щоб уникнути масових коротких замикань роботу слід проводити поелементно. Після установки сепараторів в акумулятори повертають зняті пружини і кінцеві трубочки й упаюють вирізані бічні пластини. Потім батареї дають заряд на 10-15% триваліший нормального.

За наявності в акумуляторі покороблених пластин потрібно суміщати установку сепараторів з правкою пластин. Позитивні пластини, особливо із значним терміном служби, в розрядженому стані не піддаються правці. Повністю заряджені позитивні пластини легше піддаються правці.

З повністю зарядженого акумулятора вирізаються покороблені пластини і витягується стара сепарація. Пластини виправляють і упаюють на місце. Нову сепарацію встановлюються, як описано вище.

При заміні сепараторів у зарядженому акумуляторі слід особливо строго не допускати коротких замикань.

### **7.13 Заливка електролітом**

Електроліт повинен бути приготовлений за 16-24 години, щоб до заливки він встиг остигнути. Бажано, щоб відразу була підготовлена вся кількість електроліту, необхідна для заливки батареї, і 15-20% цієї величини для добавок під час формувального заряду.

Заливка електролітом з температурою вище за 30°C не допускається. Заливку малих акумуляторів можна проводити скляним кухлем. Середні та великі акумулятори заливаються з бутлів за допомогою сифона (рис. 6.8) або безпосередньо нахилом бутля. В останньому випадку бутель повинен бути в міцному обрешетуванні з ручками і важити не більше 50 кг. Заливку нахилом бутля проводять 2 особи за допомогою пересувного верстата. Рівень електроліту після заливки елемента повинен бути на 10-15 мм вище за верхню кромку пластин. Після цього елементи закриваються покривним склом.

Батареї, залиті електролітом, дають якийсь час вистоятися, для того, щоб пластини просочилися електролітом. Проте, щоб уникнути сульфатації пластин, батарея повинна бути поставлена на формувальний заряд не пізніше, ніж через 6 годин після заповнення електролітом.

У разі неможливості приготування відразу всього обсягу електроліту, що вкрай небажано, залита частина батареї на якийсь час, поки для частини батареї, що залишилася, готується електроліт, ставиться на заряд струмом 0,1-0,2 нормального зарядного струму. Відповідно до цього і сепарація для уникнення пересихання повинна встановлюватися частинами.

## 8. ДОПОМІЖНІ РОБОТИ

### 8.1 Перевірка ємності пластин

Ряд дефектів акумуляторів (знижена ємність, переполюсовка) спричинені несправністю пластин. Тому при виявленні в батареї елемента зі зниженою ємністю за відсутності в ньому коротких замикань або сульфатації слід перевіряти, чи не є причиною зниженої ємності елемента несправність його пластин.

Несправність пластин може бути визначена за їх ємністю. Пряме вимірювання ємності пластин дуже громіздке і в практичних умовах не застосовується. Непрямим показником ємності пластин є величина і знак потенціалу пластини щодо електроліту.

Напруга акумулятора є різницею потенціалів позитивних і негативних пластин щодо електроліту. Під час заряду і розряду ці потенціали змінюються. Загальна напруга акумулятора також змінюється.

При справних пластинах в повністю зарядженому акумуляторі потенціал позитивних пластин щодо електроліту буде приблизно дорівнювати  $+2,15$  В, потенціал негативних пластин – приблизно  $+0,15$  В. Напруга акумулятора відповідно  $(+ 2,15) - (+0,15) = 2$  В.

В акумуляторі, розрядженому до  $1,8-1,75$  В, потенціал позитивних пластин буде приблизно рівний  $1,96-2$  В, а негативних  $0,16-0,2$  В.

Ознакою несправності (зниження ємності) позитивних пластин служить пониження їх потенціалу щодо електроліту нижче за величину  $1,96$  В, а ознакою несправності негативних пластин – підвищення їх потенціалу більше  $0,2$  В.

Вимірювання проводяться на акумуляторі, розрядженому до  $1,8-1,75$  В.

**Приклад 2.** При вимірюваннях на акумуляторі, розрядженому до  $1,75$  В, потенціал позитивних пластин щодо електроліту дорівнював  $1,9$  В, негативних –  $0,15$  В. *Висновок:* позитивні пластини є несправними.

На іншому акумуляторі вимірювання в цих же умовах показали: потенціал позитивних пластин –  $2,15$  В, негативних –  $0,35$  В. *Висновок:* негативні пластини є несправними.

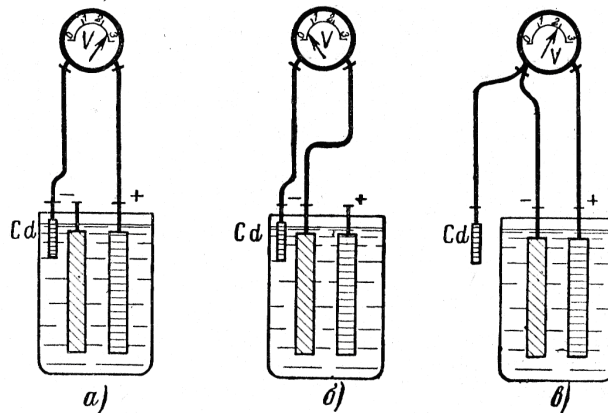


Рис. 8.1 – Схема вимірювань ємності пластин за допомогою кадмієвого електрода: а) кадмій-плюс, б) кадмій-мінус, в) напруга елемента



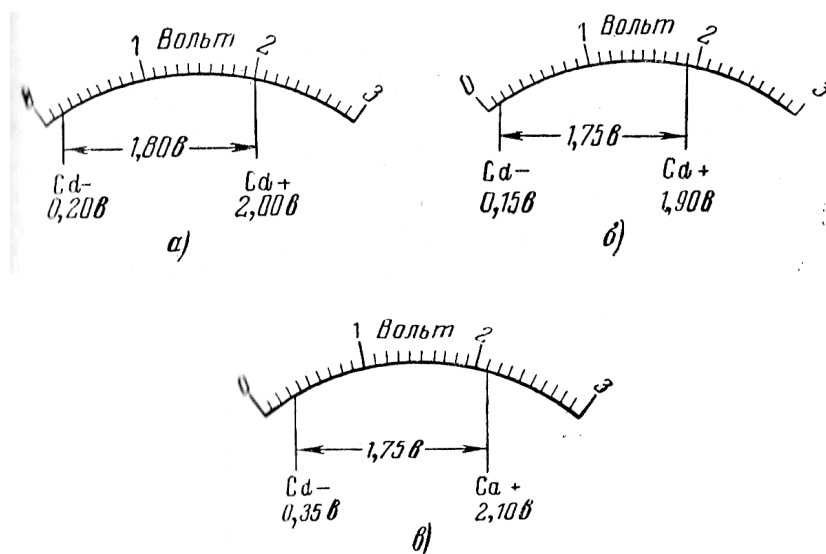


Рис. 8.2 – Залежність результатів вимірювань від стану пластин (в кінці розряду 10-годинним режимом): а) пластини обох полярностей справні, б) позитивні пластини дефектні, в) негативні пластини дефектні

Для вимірювання потенціалів пластин щодо електроліту застосовується допоміжний кадмієвий електрод (стрижень діаметром 5-6 мм і завдовжки 8-10 см). До одного з кінців кадмієвого стрижня припаюється ізольований дріт. Для забезпечення стабільності свідчень новий допоміжний електрод необхідно перед вживанням протягом 2-3 діб витримати в електроліті густиною 1,18.

Вимірювання потенціалів пластин слід проводити на акумуляторах, розряджених до 1,8-1,75 В.

До позитивного затиску точного вольтметра постійного струму зі шкалою 0-3 В приєднується гнучкий дріт завдовжки 50-75 см, а до негативного затиску – дріт від кадмієвого електрода. Електрод опускають в електроліт між крайньою пластиною і стінкою посудини. Кінцем дроту, приєданого до позитивного затиску вольтметра, торкаються по черзі позитивної та негативної сполучних смуг або пластин акумулятора, що перевіряється, і записують свідчення вольтметра. Одночасно вимірюється і записується загальна напруга акумулятора. На рис. 8.1 показані схема і порядок вимірювання. На рис. 8.2 приведені свідчення вольтметра для акумулятора при різних випадках несправності пластин. За допомогою допоміжного кадмієвого електрода можна виявити переполюсовані елементи батареї і визначити групу пластин, знижена ємність яких послужила причиною переполюсування.

Різке зниження напруги кадмій-плюс при близькій до нормальної напрузі кадмій-мінус свідчить про несправність позитивних пластин (рис. 8.3). Різке зростання напруги кадмій-мінус при близькій до нормальної напрузі кадмій-плюс свідчить про несправність негативних пластин (рис. 8.4).

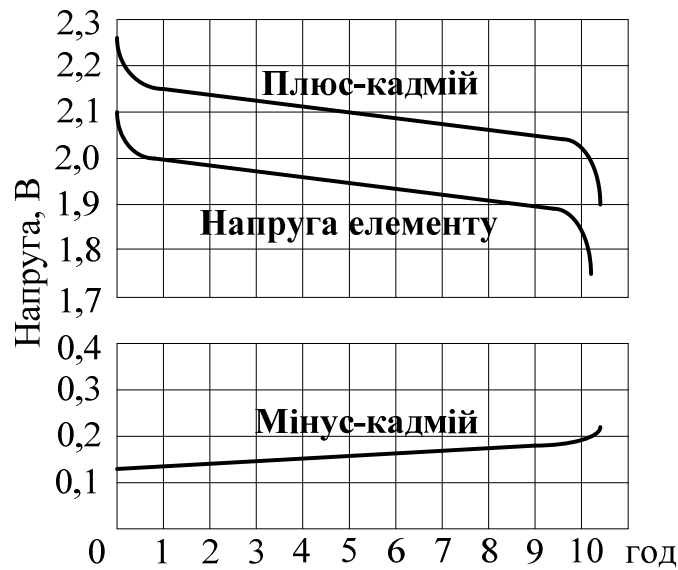


Рис. 8.3 – Криві напруги при розряді акумулятора з дефектними позитивними пластинами

Для забезпечення правильності свідчень кадмієвий електрод за півгодини до початку вимірювань необхідно опустити в електроліт густиною 1,18-1,21. При перервах у вимірюваннях не можна допускати висихання кадмієвого електроліту. При тривалих перервах у вимірюваннях електрод слід тримати в посудині з електролітом.

Після закінчення випробувань електрод ретельно промивають водою.

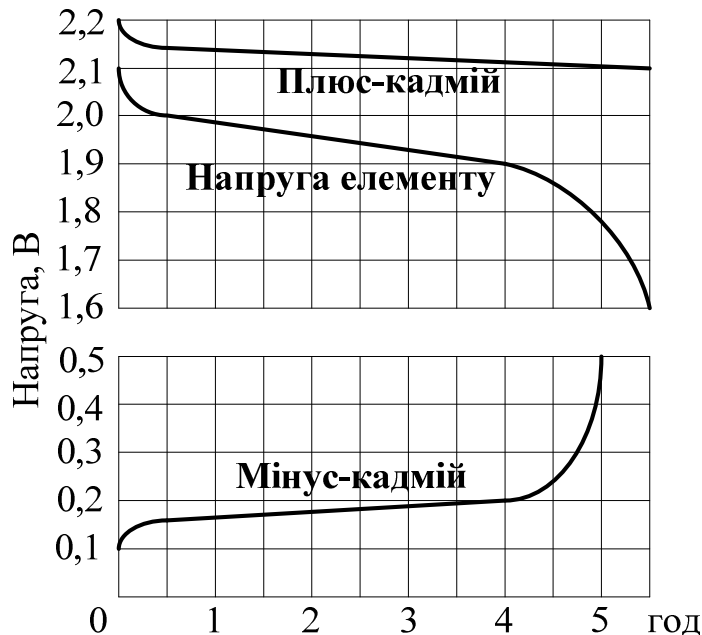


Рис. 8.4 – Криві напруги при розряді акумулятора з дефектними негативними пластинами

## 8.2 Луження сепараторів і паличок

Як сепарація в стандартних свинцево-кислотних акумуляторах застосовуються вільхова шпона і березові палички. Але одержувані з заводів вони не можуть бути застосовані в акумуляторах без спеціальної обробки. Деревина в натуральному вигляді містить шкідливі для акумуляторів речовини (кислоти, ефірні масла і смоли). Необроблена шпона недостатньо пориста, і її застосування зумовило б підвищений внутрішній опір акумулятора. Тому шпона і палички піддають спеціальній хімічній обробці, так званому луженню. Перед луженням листи шпони переглядають. Листи з великими, навіть здоровими сучками, з чорною цвіллю, з чорними сучками, тріщинами, обламаними кутами і кромками вибраковуються.

Шпона повинна мати рівномірну товщину 1,5 мм. Розкрій листів повинен враховувати, що сепаратор в акумуляторі встановлюється так, щоб волокна його були направлені горизонтально.

У результаті луження з деревини видаляються всі шкідливі речовини і розширюються пори деревини. Найбільш простий спосіб луження – холодний спосіб.

При луженні великих кількостей шпони і паличок доцільно цю операцію проводити в спеціальному дерев'яному баку, викладеному зсередини свинцевими листами (рис. 8.5).

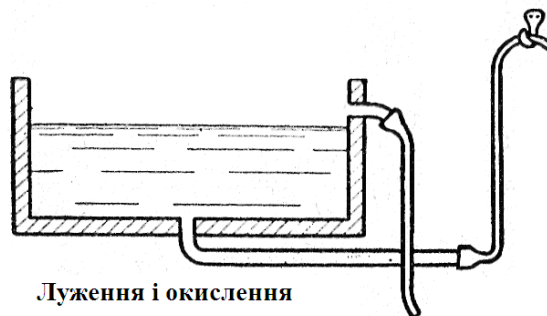


Рис. 8.5 – Бак для луження сепараторів

Оброблювана шпона встановлюється вертикально (за напрямом волокон деревини) на дерев'яні ґрати, поставлені на дно бака.

Для забезпечення вільного доступу розчину до шпони ґрати повинні на відстані 5-6 см від дна бака. Для оберігання шпони від спливання на неї зверху кладуть ґрати з вантажем (краще свинцевим). Палички також розміщують вертикально. Для луження застосовується розчин їдкого натра (каустична сода). На 1 л води береться 60 г технічного їдкого натра. Гумовий шланг на нижньому зливні з бака підвішується на рівень вище за верхній зливний отвір. Бак заповнюється приготованим розчином так, щоб рівень розчину знаходився на 7-8 см вище за кромку шпони. При температурі розчину 15-20°C луження триває 80-85 год. Для забезпечення рівномірного луження розчин потрібно кілька разів на день перемішувати.

Після закінчення луження розчин з бака через нижній шланг скидається в

каналізацію, а вилужена шпона і палички промивають водою. Для цього нижній шланг приєднують до водопроводу. Вода під невеликим натиском від низу до верху омиватиме шпону і палички і видалятися через верхній зливний отвір в каналізацію. Для надійної промивки потрібно 36-48 год. Вилужена і відмита шпона має рівномірне червоно-коричнєве (буре) забарвлення.

Після промивки шпона і палички нейтралізуються, Для цього бак заповнюється розчином сірчаної кислоти питомої ваги 1,1. У цьому розчині шпона і палички витримуються 10-12 год. Під дією сірчаної кислоти шпона і палички набувають солом'яно-жовтого відтінку.

Після нейтралізації шпона і палички повторно промиваються. Тривалість промивки 6 год.

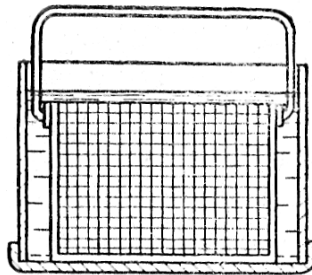


Рис. 8.6 – Корзина для луження сепараторів

Для луження невеликих кількостей шпони зручно використовувати дротяну корзину (рис. 8.6). Така корзина з вертикально поставленою в ній шпоною може для луження опускатися в будь-який залізний бак. У цій же корзині проводиться перша промивка. Для нейтралізації та другої промивки шпона перекладається в акумуляторні посудини. Режим луження і нейтралізації такий же, як і в першому випадку.

Після другої промивки сепаратори переглядають на світлі сильної лампи. Сепаратори, в яких виявляються тріщини, сучки, отвори, темні плями або просвічування, бракуються.

### 8.3 Зберігання сепараторів

Суху невилужену шпону необхідно зберігати в сухому прохолодному місці. Для попередження викривлення шпона зберігається в стопках під легким навантаженням. Недопустимими є зволоження шпони і поява на ній цвілі. Запліснявіла шпона до застосування непридатна. Тривалість зберігання сухої шпони не обмежується. У випадках отримання з заводу вологої шпони вона повинна використовуватися в найближчі 2-3 тижні або, щоб уникнути цвілі, переводитися на «вологе» зберігання в розчині сірчаної кислоти (25-30 г на 1 л води) або двовуглекислої соди (25-30 г на 1 л води).

Зберігання шпони в розчині двовуглекислої соди більш прийнятне. Піврічне зберігання шпони в цьому розчині практично не знижує її механічної міцності. Готові сепаратори (вилужені) не можна допускати до висихання. Вони при цьому

коробляться і тріскаються. При висиханні сепаратора його електричний опір підвищується. Повторне зволоження не відновлює первинної величини опору.

Якщо приготовані сепаратори планують використовувати в найближчі 5-7 днів, їх зберігають в стопках, накритих чистими вологими ганчірками. При необхідності тривалішого зберігання сепаратори поміщають в підкислену дистильовану воду. Для підкислення на 100 л води беруть 2 л сірчаної кислоти питомою вагою 1,18. Вологе зберігання шпони більше півроку не рекомендується. Палички зберігаються в сухому вигляді.

Не слід заготовлювати «про запас» великі кількості сепараторів. Доцільно мати запас сухої шпони і масове її луження проводити перед капітальним ремонтом батареї.

Для поточних потреб досить мати запас готових сепараторів в кількості не більше 5% числа сепараторів, встановлених в батареї.

#### 8.4 Складання електроліту

Користуючись даними табл. 7.6 і числом елементів, в яких замінюється електроліт, визначають загальну кількість потрібного електроліту.

**Приклад 3.** На батареї СК-12 зі 130 елементів при ремонті з заміною всіх пластин повністю замінюється електроліт. У кожному елементі СК-12 міститься 17,5 л електроліту питомої ваги 1,18 (табл. 7.6).

У всій батареї

$$17,5 \times 130 = 2\ 275 \text{ л}$$

При установці нових пластин батареї дається формувальний заряд. При цьому на доливку в процесі формування йде 15-20% свіжого електроліту від спочатку залитого:

$$0,2 \times 2\ 275 = 455 \text{ л.}$$

Всього потрібно

$$2\ 275 + 455 = 2\ 730 \text{ л}$$

Для зручності при заливці батареї весь обсяг електроліту повинен виготовлятися одночасно. Тому необхідно заготовити одну або декілька посудин сумарним об'ємом 1,2-1,3 обсягу електроліту. Для умов прикладу раціонально узяти три дерев'яні баки, викладені свинцем, по 1,2 м<sup>3</sup> кожен. Перевищення висоти стінок бака над рівнем розведеного електроліту необхідне для запобігання розбризкуванню.

Для виготовлення 1 л електроліту питомої ваги 1,18 необхідні 0,172 л акумуляторної сірчаної кислоти питомої ваги 1,83 і 0,862 л дистильованої води. Кількості кислоти і води взяті з урахуванням зменшення питомого об'єму при розчиненні.

Отже, для виготовлення в кожному з баків 900 л електроліту питомої ваги 1,18 необхідно залити в кожен бак  $0,862 \times 900 = 775$  л дистильованої води, а потім

додати в неї  $0,172 \times 900 = 155$  л сірчаної кислоти питомої ваги 1,83. Маса буде такою  $155 \cdot 1,83 = 283$  кг.

Концентрована сірчана кислота швидко з'єднується з водою; при цьому виділяється велика кількість тепла. Якщо лити воду в кислоту, то вона миттєво перетворюється на пару, кислота розбризкується і може нанести сильні опіки. Тому **при розчиненні концентрованої кислоти завжди кислота вливається у воду, а не навпаки.**

Кислота повинна вливатися у воду тонким струменем при безперервному перемішуванні розчину ебонітовою мішалкою або мішалкою з кислототривкої пластмаси. Бутель, з якого переливається кислота, повинен бути разом з обрешетуванням надійно закріплений у верстаті для нахилу бутля. Робітник, що переливає кислоту, повинен бути одягнений в суконний костюм, гумовий фартух, гумові рукавички і захисні окуляри. При розчиненні кислоти розчин нагрівається. Вимірювання питомої ваги нагрітого розчину може ввести в оману. Наприклад, розчин сірчаної кислоти питомої ваги 1,18 при  $40^\circ\text{C}$  після охолодження до  $20^\circ\text{C}$  збільшить питому вагу до 1,194. Такий розчин застосовувати як електроліт не можна. Питома вага електроліту 1,18 нормується при температурі  $20^\circ\text{C}$ . Однак чекати охолодження розчину до такої температури довго. Можна, користуючись таблицею поправок на температуру (табл. 8.1), визначити дійсну питому вагу електроліту, тобто питому вагу при  $20^\circ\text{C}$ , при будь-якій фактичній температурі його у момент вимірювання. Для цього до питомої ваги електроліту, заміряної при певній температурі, додають або віднімають поправку. При фактичній температурі електроліту, що вища за  $20^\circ\text{C}$ , поправка додається до показань денсиметра (ареометра); при температурі, що нижча за  $20^\circ\text{C}$ , поправка віднімається.

Таблиця 8.1 – Температурні поправки

| Фактична температура електроліту, $^\circ\text{C}$ | Поправка | Фактична температура електроліту, $^\circ\text{C}$ | Поправка |
|--|----------|--|----------|
| +45  | 0,0175   | +10  | 0,0070   |
| +40  | 0,0140   | +5   | 0,0105   |
| +35  | 0,0105   | 0  | 0,0140   |
| +30  | 0,0070   | -5   | 0,0175   |
| +25  | 0,0035   | -10  | 0,0210   |
| +20  | 0,0000   | -15  | 0,245    |
| +15  | 0,0035   | -20  | 0,0280   |

**Приклад 4.** При температурі розчину  $40^\circ\text{C}$  денсиметр показав питому вагу 1,175. Дійсна питома вага, тобто питома вага при  $20^\circ\text{C}$ , буде:

$$1,175 + 0,0140 = 1,189.$$

Питома вага велика, в розчин необхідно додати дистильованої води.

У розчин такої питомої ваги можна вливати воду, оскільки виділення тепла буде малим і розбризкування не буде.

**Приклад 5.** При температурі розчину  $40^\circ\text{C}$  денсиметр показав 1,16. Справжня питома вага буде:

$$1,16 + 0,0140 = 1,174.$$

Питома вага низька, потрібно в розчин додати кислоти питомої ваги 1,83. Оскільки добавка повинна бути невеликою, доцільно добавку проводити скляним кухлем.

Вимірювання температури електроліту здійснюється термометром з границями вимірювання 0-50°C з ціною поділу 1°C. Застосування термометра в дерев'яній оправі не дозволяється. Для вимірювання питомої ваги електроліту застосовується денсиметр (ареометр) з межами вимірювань 1,1-1,4 з ціною поділу 0,005.

Для прискорення процесу заливки електролітом батареї доцільно електроліт, що остигнув, розлити в бутлі, з яких проводитиметься заливка.

### 8.5 Перший (формувальний) заряд відремонтованих акумуляторів

При повній заміні всіх пластин обох полярностей формування батареї здійснюється так само, як формування нової батареї. Акумулятори, залиті електролітом, повинні вистоятися 2-4 год. для того, щоб електроліт встиг заповнити всі пори активної маси пластин. З іншого боку, залишення без заряду акумулятора, заповненого електролітом, протягом більше 6 год. не допускається, оскільки це призводить до сульфатації пластин. Тому вся кількість електроліту, необхідна для одночасного заповнення всіх акумуляторів батареї, повинна бути підготовлена до моменту заливки.

Враховуючи, що під час формування може знадобитися дистильована вода або електроліт, необхідно мати запас того й іншого. Рівень електроліту при заливці повинен бути на 15 мм вище за верхні кромки пластин.

У непрозорих акумуляторних судинах перевірку рівня електроліту рекомендується робити за допомогою скляної трубки діаметром 5-6 і завдовжки 150-200 мм (рис. 8.7). На одному з кінців трубки повинні бути нанесені риски через кожні 5 мм. Трубка ставиться на верхню кромку пластини, потім верхній кінець трубки закривається пальцем і трубка виймається. Висота рідини в трубці покаже з достатньою в цьому випадку точністю рівень електроліту над пластинами. Після цього елементи закривають покривним склом.

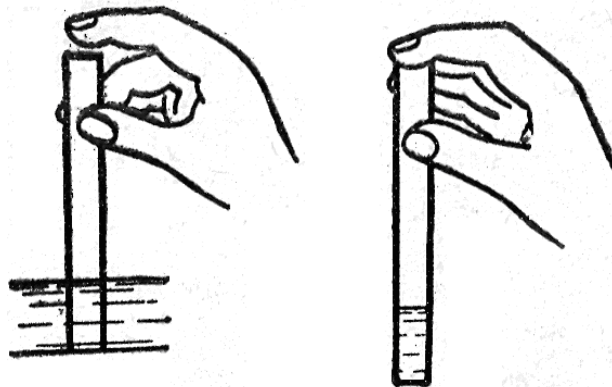


Рис. 8.7 – Перевірка рівня електроліту за допомогою скляної трубки

Заводи поставляють пластини неповністю відформованими. На позитивних пластинах активний шар складається з губчастого свинцю замість двоокису

свинцю, а в негативних пластинах маса складається з суміші оксидів свинцю. Тому на місці установки акумулятори за допомогою тривалого заряду формують.

Для формування пластин необхідно під час формувального заряду повідомити батареї не менше, як 10-кратну номінальну ємність (тобто ємності при 10-годинному розряді). Тривалість формувального заряду складає 70-80 год. Перші 25 год. заряд повинен проходити без перерви, оскільки відключення струму в цей період шкідливі для акумуляторів. При порушенні режиму формувального заряду волога маса, що заповнює осередки негативної пластини, неповністю перетворюється на губчастий свинець. Згодом частина пасти викришиться, що призведе до зниження ємності. Позитивні пластини можуть покритися шаром крупнокристалічного сульфату свинцю, що вимагатиме їх спеціальної обробки. Тому зарядний агрегат ще до заливки електроліту повинен бути ретельно перевірений; повинні бути відрегульовані пристрої регулювання збудження і максимально зворотний автомат. Краще, якщо зарядний агрегат обкатати протягом 25-30 год. на холостому ходу.

Під час формувального заряду повинна безперервно працювати вентиляція. Тому обов'язкова попередня перевірна робота вентиляційної установки безперервно протягом доби. Щоб уникнути переполюсовки акумуляторів, повинна бути перевірена правильність підключення зарядного агрегату. Позитивний полюс зарядного агрегату повинен бути приєднаний до позитивного полюса батареї, негативний полюс агрегату – до негативного полюса батареї.

Формувальний заряд проводиться струмом такої величини, щоб на одну пластину +И-1 доводилося не більше 7 А, на пластину +И-2 – не більше 10 А і на пластину И-4 – не більше 18 А.

**Приклад 6.** Який максимальний струм заряду допустимий при формуванні акумуляторної батареї СК-20?

В акумуляторі СК-20 міститься 10 пластин +И-2; максимальний струм заряду при формуванні  $10 \times 10 = 100$  А.

**Приклад 7.** Батарея акумуляторів СК-32.

Акумулятор СК-32 вміщує 8 пластин +И-4. Струм заряду  $18 \times 8 = 144$  А.

Після заповнення акумуляторів електролітом батарея матиме малу напругу, іноді навіть зворотного знака (через переполюсовку при заводському формуванні пластин). Тому на початку формувального заряду необхідно вжити заходи з обмеження зарядного струму. Для цього початкова стадія заряду проводиться через рідинний реостат при напрузі на зарядному агрегаті всього на 4-5 В вище напруги батареї.

Заряд починається при заповненні рідинного реостата чистою водопровідною водою. Тому початковий струм буде дуже малим. Потім у воду поступово при безперервному розмішуванні додають малими порціями міцну сірчану кислоту. Струм заряду при цьому підвищується.

Досягши заданої величини струму добавка кислоти припиняється. Цей струм повинен неухильно підтримуватися протягом всього часу заряду. У міру зростання



проти – ЕРС батареї струм заряду почне знижуватися. Для підтримки його слід зближувати електроди реостата або додавати в рідину кислоту. Приблизно після 2 год. заряду опір реостата настільки знизиться, що його можна закортити і регулювання струму заряду вести зміною збудження генератора.

Щоб уникнути викривлення позитивних пластин, не слід допускати перевищення встановленої величини струму. Під час заряду не рідше, ніж 1 раз на 2-3 год., необхідно вимірювати і записувати напругу, температуру і густину електроліту кожного елемента. Температура електроліту в контрольних елементах повинна вимірюватися щогодини. Число контрольних елементів повинне дорівнювати 4-5% від загального числа елементів. На початку газоутворення спостерігають, чи всі елементи одночасно в нього вступають і чи з однаковою інтенсивністю газують.

При виявленні відстаючих елементів (за густиною електроліту, напрузі та газуванню) з'ясовують і усувають причину відставання.

Після 25 год. безперервного заряду зарядний агрегат вимикають і батарею залишають у спокої на 1 год. Через 1 год. батарею знову вмикають на заряд тим самим струмом і їй повідомляється номінальна ємність. Потім знову 1 год. спокою і знову заряд. Це триває до тих пір, поки батарея не отримає 10-кратну ємність.

Приблизний графік формувального заряду батареї з акумуляторів СК-20 приведений нижче. Батарея з акумуляторів СК-20 має ємність при 10-годинному розряді, яка дорівнює 720 А·год. 10-кратна ємність, отже, – 7200 А·год.

Струм заряду при формуванні 100 А. Загальна приблизна тривалість заряду  $7200:100=72$  год. Перший період заряду 25 год.: батареї повідомляється  $25 \cdot 100=2500$  А·год. Перший період спокою 1 год. Потім проходять шість періодів заряду, в кожному з яких батареї повідомляється номінальна ємність, тобто 720 А·год. Тривалість кожного періоду заряду  $720:100=7$  год., тривалість перерв між ними – 1 год. Восьмий період, якщо він знадобиться, буде завершальним. Ознаками закінчення формування є такі показники: напруга елементів досягла 2,5-2,75 В і тримається постійною протягом 2-3 год., густина електроліту досягла величини 1,20-1,21 і тримається постійною, у всіх елементах електроліт «кипить» крупними бульбашками газу.

Протягом всього формувального заряду доливання елементів проводять тільки електролітом питомої ваги 1,18. Температура електроліту під час формувального заряду не повинна бути вище 40°C. Якщо температура електроліту перевищить 40°C, струм заряду необхідно понизити з відповідним збільшенням тривалості формування. Якщо зниження зарядного струму не дає ефекту, необхідно заряд переривати для охолодження електроліту до 30°C.

Складніше зі здійсненням формування за наявності у відремонтованій батареї елементів з різними комбінаціями нових і старих пластин. У цьому випадку нераціонально формувати батарею як одне ціле при одному якомусь режимі. Якщо цей режим узяти за новими пластинами, то старі пластини будуть неприпустимо

перезаряджені, що значно понизить їх механічну міцність. Якщо режим формувального заряду узяти за старими пластинами, то нові пластини будуть недозарядженими і батарея не досягне нормальної ємності. Тому для кожної групи елементів може бути рекомендований свій режим формувального заряду:

1. *Елементи з новими пластинами обох полярностей* – режим формувального заряду, як для нових акумуляторів (див. вище).

2. *Елементи з новими позитивними і старими негативними пластинами* – елементам повідомляється 8-9-кратна ємність 10-годинного розряду. При цьому в елементи *обов'язково вставляють нову сепарацію*. Зарядний струм не повинен перевищувати 3 А на одну позитивну пластину типу И-1, 6 А на одну пластину типу И-2 і 12 А на пластину типу И-4.

Зниження зарядного струму й установка свіжої сепарації зменшують знос негативних пластин. Для формування елементів у такому режимі потрібно дуже багато часу (приблизно 96-107 год.). Тому бажано мати в запасі нові позитивні пластини *темного* формування.

Для першого заряду їх досить 5-кратної ємності 10-годинного розряду.

3. *Елементи зі старими позитивними і новими негативними пластинами* – елементам повідомляється 5-6-кратна ємність 10-годинного розряду.

Режим заряду рекомендується наступний:

1-а стадія: струм 7 А на одну позитивну пластину И-1 (14 А на И-2; 28 А на И-4) - 16 год.

2-а стадія: струм 50% початкового – 16 год.

3-а стадія: струм 30% початкового – 10-12 год.

**Приклад 8.** Акумулятор СК-8. Позитивні пластини И-2 — 4 шт. Ємність 10-годинного розряду 288 А·год.

1-а стадія заряду: струм  $4 \times 14$  А—16 год.=896 А·год.

2-а стадія заряду: струм  $0,5 \times 14 \times 4$  А—16 год.=448 А·год.

3-я стадія заряду: струм  $0,3 \times 14 \times 4$  А —10 год.=168 А·год.

42 год.— 1 512 А·год.

Практикою встановлено, що формувальний заряд з повідомленням акумулятору 5-6-кратної ємності 10-годинного розряду в більшості випадків достатній для повного формування нових негативних пластин.

Проте, враховуючи, що в недеформованих негативних пластинах частина активної пасти, що не перетворилася на губчастий свинець, фарбуватиметься, доцільно процес формування негативних пластин контролювати. Контроль здійснюється за участі допоміжного кадмієвого електрода.

Для вимірювання застосовується вольтметр зі шкалою 3–0–3 В. Кадмієвий електрод приєднується до мінусового затиску вольтметра. Кінцем дроту, приєданого до полюсового затиску вольтметра, при вимірюваннях торкаються сполучної смуги негативних пластин.

Напруга між кадмієвим електродом і негативними пластинами на початку

формуального заряду позитивна; у міру заряду вона поступово знижується, проходить через нуль і стає негативною. Дійшовши до величини  $-0,2 \div 0,3$  В, вона робиться постійною. Постійність напруги кадмій-негативні пластини свідчить про завершення формування.

4. *Елементи зі старими пластинами обох полярностей* – елементам повідомляється 5-кратна ємність 10-годинного розряду. Ці елементи можна включати в ланцюг формованих елементів з новими пластинами обох полярностей через 30 год. після початку заряду.

До кінця формування елементів з новими пластинами елементи зі старими пластинами одержать також достатній заряд.

В акумуляторній батареї, зібраній з елементів, що формуються групами, опиняться елементи різного ступеня зарядженості.

Для вирівнювання зарядженості необхідно дати батареї зрівняльний заряд.

Батарея розряджається струмом 10-годинного розряду напруги 1,8 В на елемент. Після цього батареї дається нормальний заряд. Після перерви тривалістю 1–2 год. заряд поновлюється, струм заряду знижується до 40% первинного. Додатковий заряд триває 1 год. і повторюється 2–3 рази. Після цього у всіх елементах перевіряється густина електроліту. Вона повинна бути не нижче 1,20–1,21.

## 8.6 Післяремонтні випробування батареї

Акумуляторна батарея після капітального ремонту зі зміною всіх пластин повинна бути прийнята від організації, що проводила ремонт, за нормами для нових акумуляторних батарей. Акумуляторна батарея піддається контрольному розряду, а в деяких випадках і контрольному заряду для визначення віддачі батареї за ємністю й енергією (ККД).

Контрольний розряд рекомендується проводити струмом 10-годинного режиму. Розряд припиняється, як тільки напруга виявиться нижчою за 1,8 В хоч би на одному елементі. Під час розряду кожної години проводяться заміри і запис напруги на кожному елементі і температури електроліту на контрольних елементах. Фактична ємність батареї дорівнюватиме:

$$I_{\text{розр}} t_{\text{розр}} = C_{\text{факт}}, \quad (8.1)$$

де  $I_{\text{розр}}$  — струм розряду, А;

$t_{\text{розр}}$  — тривалість розряду, год.

Фактична ємність порівнюється з номінальною ємністю 10-годинного режиму розряду акумулятора певного типу (табл. 8.2).

Номінальна ємність акумуляторів, приведена в табл. 8.2, одержана при температурі електроліту  $25^{\circ}\text{C}$  і питомій вазі на початку розряду 1,21. Тому в кінці формуального заряду електроліт у всіх елементах повинен бути доведений до питомої ваги 1,21. Якщо його середня температура під час розряду відрізнялася від  $25^{\circ}\text{C}$ , то фактична ємність приводиться до температури  $25^{\circ}\text{C}$  за формулою:

$$C_{25} = \frac{C_{\text{факт}}}{1 + 0,008(t - 25)}, \quad (8.2)$$

де  $t$  — фактична середня температура електроліту.

Якщо приведена до  $25^{\circ}\text{C}$  ємність дорівнює або більше ємності, приведеної в табл. 8.2, батарея приймається в експлуатацію. Якщо ємність  $C_{25}$  виявляється менше ємності, приведеної в табл. 8.2, батарею піддають одному-двом тренувальним заряд-розрядам для доведення ємності до номінальної. Контрольний розряд проводиться зазвичай на рідинний реостат. Необхідно при цьому ретельно стежити за незмінністю величини розрядного струму. Коливання розрядного струму можуть спотворити результати перевірки.

У випадках, коли умовами приймання батареї обумовлена перевірка віддачі батареї за ємністю й енергією, батарея після контрольного розряду піддається контрольному заряду 10-годинним зарядним струмом. Заряд проводиться без перерв доти, поки напруга на всіх елементах досягне 2,5-2,75 В і триматиметься незмінною протягом 1 год. Питома вага електроліту при цьому повинна бути 1,20-1,21.

Таблиця 8.2 – Номінальна ємність і струми розряду 10-годинного режиму акумуляторів С і СК

| Тип акумулятора | Номінальна ємність, А·год. | Розрядний струм 10-годинного режиму, А | Тип акумулятора | Номінальна ємність, А·год. | Розрядний струм 10-годинного режиму, А |
|-----------------|----------------------------|--|-----------------|----------------------------|--|
| С (СК)-1        | 36                         | 3,6                                    | С (СК)-24       | 864                        | 86,4                                   |
| С (СК)-2        | 72                         | 7,2                                    | С (СК)-28       | 1008                       | 100,8                                  |
| С (СК)-3        | 108                        | 10,8                                   | С (СК)-32       | 1152                       | 115,2                                  |
| С (СК)-4        | 144                        | 14,4                                   | С (СК)-36       | 1296                       | 129,6                                  |
| С (СК)-5        | 180                        | 18,0                                   | С (СК)-40       | 1440                       | 144,0                                  |
| С (СК)-6        | 216                        | 21,6                                   | С (СК)-44       | 1584                       | 158,4                                  |
| С (СК)-8        | 288                        | 28,8                                   | С (СК)-48       | 1728                       | 172,8                                  |
| С (СК)-10       | 360                        | 36,0                                   | С (СК)-52       | 1872                       | 187,2                                  |
| С (СК)-12       | 432                        | 43,2                                   | С (СК)-56       | 2016                       | 201,6                                  |
| С (СК)-14       | 504                        | 50,4                                   | С (СК)-60       | 2160                       | 216,0                                  |
| С (СК)-16       | 576                        | 57,6                                   | С (СК)-64       | 2340                       | 234,0                                  |
| С (СК)-18       | 648                        | 64,8                                   | С (СК)-68       | 2448                       | 244,8                                  |
| С (СК)-20       | 720                        | 72,0                                   | С (СК)-72       | 2592                       | 259,2                                  |

При будь-яких неполадках в зарядному агрегаті батарею необхідно негайно вимкнути.

Час простою батареї повинен виключатися з часу заряду. Використовуючи дані контрольного розряду і контрольного заряду, можна встановити величину

віддачі батареї за ємністю й енергією. Віддачею батареї за ємністю називається відношення кількості ампер-годин, одержаних від батареї при контрольному розряді, до кількості ампер-годин, повідомлених батареї при контрольному заряді. Віддача за ємністю виражається у відсотках:

$$C = \frac{C_{\text{розр}}}{C_{\text{зар}}} \cdot 100, \quad (8.3)$$

де  $C$  — віддача за ємністю, %;

$C_{\text{розр}}$  — кількість ампер-годин, отриманих від батареї при контрольному розряді;

$C_{\text{зар}}$  — кількість ампер-годин, повідомлених батареї при контрольному заряді.

Віддачею батареї за енергією (ККД) називається відношення кількості ватт-годин, одержаних від батареї при контрольному розряді, до кількості ватт-годин, повідомлених батареї при контрольному заряді:

$$\eta = \frac{C_{\text{розр}} U_{\text{ср.розр}}}{C_{\text{зар}} U_{\text{ср.зар}}} \cdot 100, \quad (8.4)$$

де  $\eta$  — віддача батареї за енергією, %;

$U_{\text{ср.розр}}$  — середня напруга батареї при контрольному розряді;

$U_{\text{ср.зар}}$  — середня напруга батареї при контрольному заряді.

Якщо віддача за ємністю не менше 84%, а віддача за енергією не менше 65%, можна вважати, що батарея витримала випробування. При менших величинах віддачі цикл тренувального розряду-заряду повторюється.

Після контрольного розряду і контрольного заряду, якщо він проводився, перевіряється опір ізоляції батареї. Опір ізоляції нової батареї напругою до 110 В повинен бути не менше 50000 Ом, батареї до 220 В – відповідно не менше 100000 Ом.

Для виключення спотворень при вимірюваннях стелажі й акумуляторні посудини перед вимірюваннями насухо протирають чистим дрантям або ганчір'ям.

Вимірювання опору ізоляції проводиться за способом двох вольтметрів (рис. 8.8).

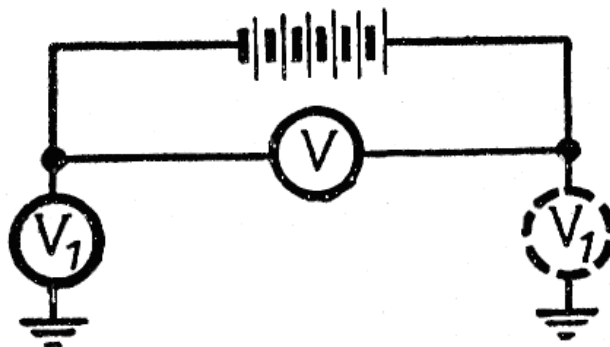


Рис. 8.8 – Вимірювання опору ізоляції батареї методом двох вольтметрів

Вольтметри  $V$  і  $V_1$  однакові і з великим внутрішнім опором (не менше 50000 Ом). Вольтметр  $V$  приєднується між полюсами батареї, а вольтметр  $V_1$  по черзі включається між плюсом і землею, між мінусом і землею.

Чим краща ізоляція батареї, тим менша сума напруг між полюсами батареї та землею. В ідеальному випадку, при виключно високій ізоляції, сума цих напруг може дорівнювати нулю. Підрахунок величини опору ізоляції батареї робиться за формулою:

$$R_{is} = \left( \frac{U}{U_1 + U'_1} - 1 \right) \cdot r_v, \quad (8.5)$$

де  $R_{is}$  — опір ізоляції, Ом;

$U$  — показання вольтметра  $V$ ;

$U_1$  — показання вольтметра  $V_1$  при включенні між плюсом і землею;

$U'_1$  — показання вольтметра  $V_1$  при включенні між мінусом і землею;

$r_v$  — опір вольтметра.

Вимірювання проводяться при відключеному навантаженні та відключених зарядного і підзарядного агрегатів.

## 9. НІКЕЛЬ-КАДМІЄВІ АКУМУЛЯТОРИ

Попередником сучасних лужних акумуляторів можна вважати елементи Лапланда (1881 р.), в основу дії яких були покладені мідно-цинкова і ртутно-цинкова електрохімічні системи:



У 1900 р. Юнгнер запропонував нікель-кадмієвий акумулятор. Роботи над створенням вітчизняного нікель-кадмієвого акумулятора почалися в 1928 р. у Центральній акумуляторній лабораторії під керівництвом Б. А. Кособрохова. У 1931 р. в країні почалося будівництво Саратовського заводу лужних акумуляторів, а в квітні 1933 р. СРСР одержав першу партію вітчизняних лужних акумуляторів. Великий внесок у створення вітчизняних лужних акумуляторів внесли такі вчені, як П. П. Жильцов, С. А. Розенцвейг, Б. І. Литвинов, В. С. Лизнов, Т. Н. Калайда, Д. М. Бакатова й ін.

У сорокових роках була успішно завершена робота зі створення вітчизняних герметичних нікель-кадмієвих акумуляторів, керівниками якої були А. К. Лоренц і Н. А. Марасонов. У п'ятдесятих роках вдосконаленню конструкції електродів і акумуляторів присвятили свої роботи В. В. Теньковцев, А. М. Новоновський, А. І. Клосс, М. Н. Леві, Р. В. Куліковський, П. Д. Луковцев, М. Г. Абахаєв і багато інших.

П'ятдесяті роки характеризуються різким збільшенням випуску лужних акумуляторів і заміною, де це можливо, свинцевих акумуляторів лужними в цілях економії свинцю. Виробництво лужних акумуляторів в період з 1950 р. по 1960 р. зросло в 10 разів.

### 9.1 Застосування нікель-кадмієвого акумулятора у сучасній техніці

Простота в експлуатації, висока механічна міцність і широкий температурний інтервал використання зробили нікель-кадмієві акумулятори вельми поширеними в різних галузях техніки. Питома енергія нікель-кадмієвих акумуляторів (10-45 Вт-год/кг) близька до енергії свинцево-кислотних акумуляторів. Відомі конструкції акумуляторів, що мають питому енергію 60 Вт-год/кг.

Нікель-кадмієві герметичні акумулятори завдяки простоті конструкції, надійності та відсутності шкідливого впливу на розташоване поруч устаткування виявилися зручними джерелами струму для шахтних світильників. Крім того, вони набули використання на електричному транспорті.

Герметичні нікель-кадмієві акумулятори знайшли широке застосування в малогабаритній транзисторній радіоапаратурі, електрокардіостимуляторах,

слухових апаратах і т.п.

Загерметизовані та герметичні нікель-кадмієві акумулятори широко застосовують як джерела струму в системах електропостачання.

## 9.2 Конструкція нікель-кадмієвого акумулятора

Нікель-кадмієвий (НК) акумулятор за своєю конструкцією істотно відрізняється від свинцево-кислотного.

*Корпус акумулятора* виготовляється з листової сталі шляхом штампування або згинання на шаблонах із подальшим зварюванням шва. Корпуси НК акумуляторів можуть бути циліндровими або у формі прямокутного паралелепіпеда, бічні стінки яких для збільшення міцності іноді піддаються гофруванню.

*Кришка корпусу* – штампована, з'єднується з корпусом за допомогою зварки. На кришці є отвори для виведень борнів, а також для наповнення акумулятора електролітом і виходу газів. Виведення борнів від кришки ізолюється за допомогою ізолюючих втулок і прокладок. Після установки блоку електродів у корпус дно до корпусу приварюється газовою зваркою.

За конструкцією електродів НК акумулятори розділяються на ламельні та безламельні, а за способом виконання – на відкриті, загерметизовані та герметичні.

Залежно від конструкції електроду безламельні НК акумулятори бувають:

- з металокерамічними пористими електродами, в пори яких введена активна маса;
- з намазними електродами, у яких активна маса у вигляді пасти наноситься на сітку і потім пресується.

Різновидом намазних електродів є пресовані електроди, активна маса яких спресована в тонку пластину, всередину якої для струмовідводу вкладена нікельована сітка або рамка.

Ламельні електроди виготовляються зі сталеві перфорованої стрічки завтовшки 0,1 мм. Ламелі для позитивних електродів дещо товщі, ніж для негативних. Стрічка, що використовується для виготовлення електродів, заздалегідь нікелюється. Ламель має вид плоскої коробочки, що складається з кришки 1 і денця 2, активна речовина 3 поміщається всередину ламелі (рис. 9.1). Заповнені ламелі збираються у вигляді пластин. У місці зіткнення вони з'єднуються одна з одною в замок, після чого пластини пресуються. Жорсткість пластині додають ребра 1, надіті з торців і піддані пресуванню (рис. 9.2). Блок однойменних пластин представлений на рис. 9.3.

До бічних ребер електродів приварені плоскі струмовідводи 1, які приварюються до містка баретки 2. До містка приварюється вивідний борн 3.

Число ламелей в пластині та число пластин (електродів) залежать від типу акумулятора. Оскільки глибокі розряди шкідливіші позитивним електродам, то їх в акумуляторі завжди на один більше, ніж негативних.



Початковою масою позитивного електроду вітчизняних НК акумуляторів є гідрат закису нікелю  $Ni(OH)_2$ , який змішується з 17% графіту для збільшення електропровідності. Для підвищення коефіцієнта використання нікелю і збільшення терміну служби електроду до початкової маси додають гідроксид барію  $Ba(OH)_2$  з розрахунку: близько 2% барію до ваги нікелю.

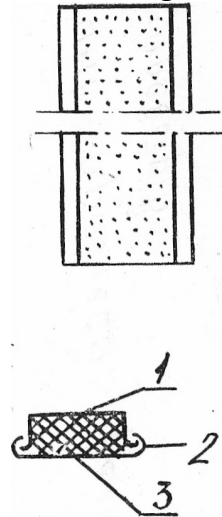


Рис. 9.1 – Плaska ламель нікель-кадмієвого акумулятора: 1 – кришка, 2 – дно, 3 – активна маса

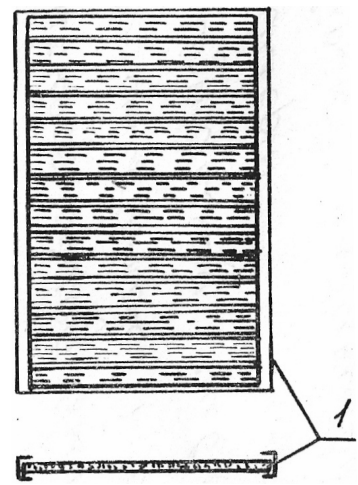


Рис. 9.2 – Кріплення ламелей в електроді (пластині): 1 – ребро жорсткості

Початковою масою негативного електроду служить суміш, що складається з окису кадмію і залізної маси.

З початкових мас шляхом формування одержують активні речовини позитивного електроду  $NiOOH$  і негативного електроду  $Cd$ .

Металеві оболонки електродів підвищують внутрішній опір акумулятора. Акумулятори з ламельною конструкцією електродів не можуть забезпечити режим розряду великими струмами.

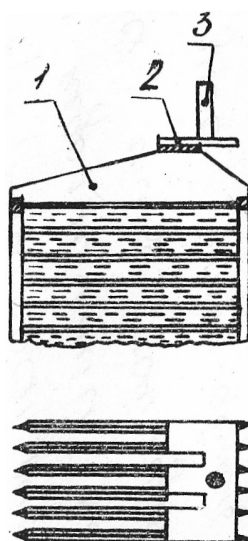


Рис. 9.3 – Блок однойменних електродів нікель-кадмієвого акумулятора:  
1 – плоский струмовідвід, 2 – місток баретки, 3 – вивідний борн

Безламельні електроди мають ряд переваг (перш за все їх внутрішній опір приблизно в чотири рази менший, ніж у ламельних). Середня напруга при розряді безламельного акумулятора досить стійка і близька до 1,2 В навіть при розряді струмами, які чисельно дорівнюють  $I_p = 4Q_n$ . Активна маса з пор безламельних електродів практично не втрачається завдяки тісній збірці їх в блоках. Нарешті, дуже мале газовиділення безламельного НК акумулятора дозволяє виготовляти його герметичним. На сьогодні освоєні три основні конструкції таких електродів: металокерамічна, фольгова і пресована.

*Металокерамічний електрод* складається з нікелевої основи, пори якої заповнюються активною масою.

Нікелева основа виходить таким чином. Суміш, що складається з 6 вагових частин карбонільного нікелю  $Ni(CO)_4$  і 4 вагових частин пороутворювача (наприклад, сечовини), напресовується на нікельовані металеві ґрати. Потім заготівку піддають спеченню в атмосфері водню. У процесі спечення сечовина розкладається й у вигляді газоподібних продуктів видаляється з основи, залишаючи відкриті пори. Карбонільний нікель при температурі  $250^\circ C$  розкладається на окис вуглецю і тонкий порошок нікелю:



Максимальна температура спечення складає близько 70% від точки плавлення. При цій температурі на поверхні частинок нікелю з'являється плівка рідкої фази. За рахунок поверхневого сплаву і спечення частинок утворюється маса, пористість якої досягає 80%. Така спечена основа має величезну поверхню порівняно з видимою зовнішньою. Основа стійка в лужному електроліті. За рахунок високої електропровідності спечена основа служить добрим струмовідводом, забезпечуючи контакт з кожною щонайменшою ділянкою активної маси.

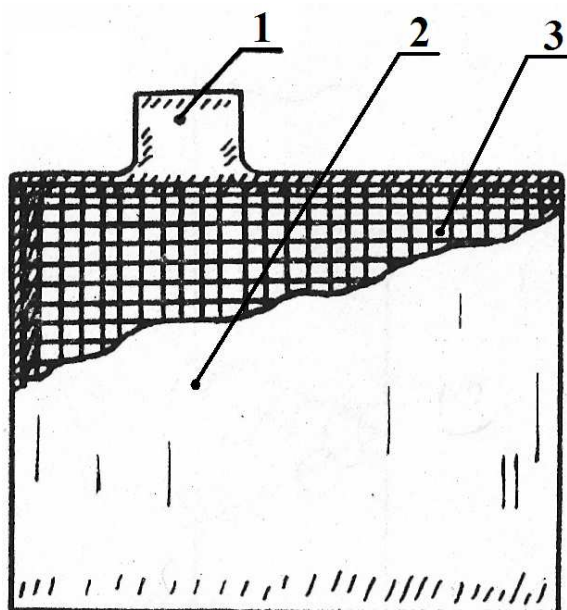
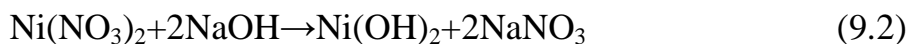


Рис. 9.4 – Металокерамічний електрод:  
1 – струмовідвід; 2 – пориста основа; 3 – металева нікельована сітка

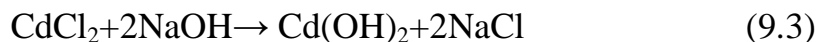
Заповнення активними речовинами пор основи проводять таким чином.

Пористу основу *позитивного електрода* просочують розчином азотнокислого нікелю. Після кристалізації електроди обробляються гарячою водою, при цьому протікає наступна реакція:



Гідрат закису нікелю  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  залишається в порах основи, а луг і солі багато разів відмиваються дистильованою водою.

Пористу основу *негативного електрода* просочують розчином хлористого кадмію. Обробляючи потім лугом, одержують в порах основи гідрат закису кадмію:



Вихідні активні речовини  $\text{NiOOH}$  і  $\text{Cd}$  в електродах одержують шляхом подальшого роздільного формування із застосуванням холостих електродів.

Основою *фольгового електрода* є нікелева фольга завтовшки 0,05 мм з нанесеними на неї з двох боків шарами нікелевого порошку, між частинками якого утворюються пори. Всі операції з виготовлення фольгових електродів, тобто спечення фольги з нікелевим порошком, заповнення пор активними речовинами проводиться так само, як і для металокерамічних електродів.

Переваги фольгових електродів перед металокерамічними наступні. Фольгові електроди можна виготовити тоншими, ніж металокерамічні (наприклад, завтовшки 0,5-0,6 мм і тонше). У результаті цього вони володіють меншим

внутрішнім опором і можуть розряджатися більшою густиною струму при нижчих температурах. Крім того, вони достатньо еластичні, тому їх можна згортати в рулон для виготовлення акумуляторів з циліндровою формою корпусу. До недоліків фольгових електродів слід віднести менший термін служби в порівнянні з металокерамічними.

Зі всіх операцій виготовлення безламельних електродів найнедосконалішою є просочення. Існуюча на сьогодні технологія просочення дозволяє заповнити тільки третю частину об'єму пор і відповідно використовувати близько 30% теоретично можливої ємності електродів. Підвищення ємності електрода можна досягти на основі застосування фізичних і електрохімічних методів дії. До них можна віднести пружні коливання звукового і ультразвукового діапазонів частот, теплову дію і, нарешті, як засоби деаерації – вакуум і поляризацію постійним струмом.

Металокерамічна і фольгова конструкції електродів дозволили значно підвищити питому енергію НК акумуляторів порівняно з ламельною конструкцією. Проте вони відрізняються високою вартістю і великою витратою нікелю. *Пресована конструкція електроду* не має вказаних недоліків. У цих електродах порошкоподібна активна маса спресовується в пластинку під тиском. У середину цієї маси запресовують металеву сітку – струмовідвід. Міцність електродів забезпечується за рахунок ущільнення збірки з прокладкою тонкої сепарації. При формуванні зібраного акумулятора активна маса позитивних електродів набухає і таким чином створюється необхідна жорсткість у всьому блоці електродів. Слід зазначити, що пресовані електроди на сьогодні через недосконалість технології виготовлення ще поступаються ламельним і металокерамічним електродам за механічною міцністю.

У НК акумуляторах залежно від конструкції електродів застосовують різні *сепаратори*. У ламельних акумуляторах як сепаратори використовуються ебонітові палички, які поміщають між різнополярними електродами. У деяких типах акумуляторів ламельні електроди обертаються хлориною тканиною і прокладаються перфорованим гофрованим вініпластом. В акумуляторах з металокерамічними електродами як сепаратор використовується хлоринова тканина. Сепаратором в акумуляторі з фольговими електродами служить капронова тканина з фільтрувальним полотном ФПП.

В акумуляторах з пресованими електродами як сепаратори використовується капронова тканина.

*Електролітом* в НК акумуляторах служить водний розчин їдкого калію або їдкого натра з додаванням їдкого літію або без нього.

Їдкий натр зазвичай застосовують в акумуляторах, призначених для роботи при підвищених температурах. Розчин їдкого калію володіє значно кращою електропровідністю. Він застосовується у всіх випадках експлуатації й особливо при низьких температурах навколишнього середовища.

У таблиці 9.1 приведені склади електролітів і їх температурний інтервал роботи. Додавка гідрату окису літію до електроліту здійснюється з метою поліпшення

характеристик окисно-нікелевого електроду. Вплив цієї добавки пояснюється наступним. Іони літію, адсорбуючись на поверхні гідрату закису нікелю Ni(OH)<sub>2</sub>, перешкоджають укрупненню зерен останнього, тобто сприяють збереженню і частково підвищенню номінальної ємності акумулятора.

У таблиці 9.2. наведений вплив добавки LiOH на величину номінальної ємності.

Таблиця 9.1 – Температурний інтервал роботи складеного електроліту

| Номер електроліту | Компоненти             |                         |           | Температурний інтервал роботи |
|-------------------|------------------------|-------------------------|-----------|-------------------------------|
|                   | KOH, г/см <sup>3</sup> | NaOH, г/см <sup>3</sup> | LiOH, г/л |                               |
| 1                 | d=1,19 ÷ 1,21          | —                       | 10        | — 19 ÷ +35°C                  |
| 2                 | —                      | d=1,17 ÷ 1,19           | 10        | — 19 ÷ +35°C                  |
| 3                 | d=1,25 ÷ 1,27          | —                       | —         | — 20 ÷ + 40°C                 |

Таблиця 9.2 – Вплив добавки гідроокису літію на величину номінальної ємності НК акумулятора

| Добавка в електроліт LiOH, г/л    | 10   | 20   | 30   | 40    | 50   |
|-----------------------------------|------|------|------|-------|------|
| Збільшення ємності акумулятора, % | 5,27 | 7,14 | 9,39 | 10,53 | 12,3 |

Досвід експлуатації показує, що добавка LiOH, більше 10 г/л, небажана, оскільки наявність в електроліті більш ніж 10 г/л LiOH призводить до утворення електрохімічної інертної сполуки LiNiO<sub>2</sub>, яка погіршує умови роботи позитивного електрода.

### 9.3 Принцип дії нікель-кадмієвого акумулятора

Згідно з сучасним уявленням електрохімічна система НК акумулятора має вигляд:



У технічній літературі існує декілька точок зору на механізм процесів, що відбуваються на окисно-нікелевому електроді. Останніми роками все більшого визнання одержує напівпровідникова теорія процесів, запропонована П. Д. Луковцевим. Найвдаліше опис процесів, що відбуваються в НК акумуляторі, виконано Т. Н. Калайда.

Основні процеси, що протікають в НК акумуляторі, описуються наступним рівнянням:



Цьому рівнянню відповідає наступний окислювально-відновлювальний процес:



Відповідно до сучасної точки зору електрохімічно активною речовиною зарядженого окисно-нікелевого (позитивного) електроду є з'єднання  $\text{NiOOH}$ , що має певну кристалічну будову, що зветься  $\beta$ -формою.

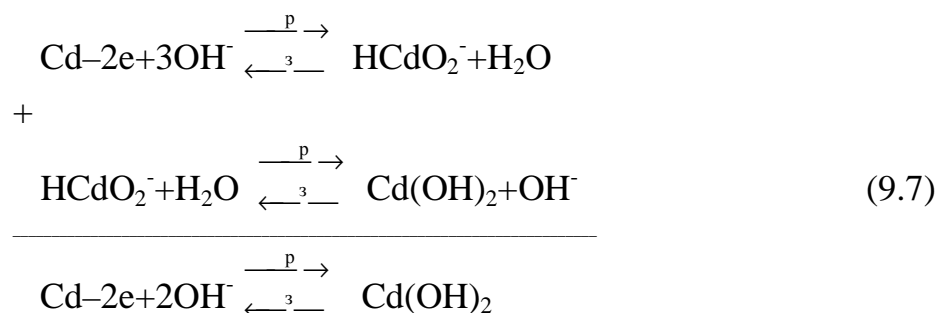
Реакція на позитивному електроді описується рівнянням



З (9.6) зрозуміло, що концентрація гідроксильних іонів біля позитивного електроду при розряді зростає, а при заряді знижується.

Активною речовиною негативного електроду є губчастий кадмій, який в процесі розряду переходить в гідрат окису кадмію.

Реакція на негативному електроді відбувається таким чином:



З (9.7) зрозуміло, що кадмій переходить у розчин у вигляді кадманату  $\text{HCdO}_2^-$ , тобто входить до складу аніона, а потім, реагуючи з водою, випадає на електроді у вигляді твердого осаду  $\text{Cd}(\text{OH})_2$ . Концентрація луку біля негативного електроду при розряді знижується, а при заряді підвищується. Обидва електроди є практично нерозчинними, оскільки продукти їх розряду  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  і  $\text{Cd}(\text{OH})_2$  не переходять в розчин, а залишаються на електродах. Для практичних цілей незначними змінами концентрації електроліту, що відбуваються в процесі розряду і заряду, можна нехтувати і вважати, що НК акумулятор працює з електролітом приблизно постійної густини. Це є позитивною якістю НК акумулятора, оскільки дозволяє зменшити обсяг електроліту до мінімуму, що визначається товщиною вживаних сепараторів. Крім того, сталість густини електроліту, на відміну від свинцево-кислотних акумуляторів, забезпечує незмінність електропровідності та температури замерзання.

Окрім розглянутих вище процесів, що є оборотними, при заряді протікають ще й необоротні процеси.

На позитивному електроді протікає процес виділення кисню:



На негативному електроді протікає процес виділення водню:



Коефіцієнти використання активних речовин в окисно-нікелевому і кадмієвому електродах приблизно однакові і становлять 60-70%.

#### 9.4 Основні характеристики нікель-кадмієвого акумулятора

*Електрорушійна сила* свіжозарядженого НК акумулятора дорівнює 1,45 В, протягом декількох діб ця величина знижується до значення 1,36 В.

Зменшення ЕРС після заряду пояснюється наявністю  $\text{NiO}_2$ , який присутній в невеликій кількості на поверхні позитивного електрода.

З часом відбувається мимовільне розкладання двоокису нікелю:



*Внутрішній опір* НК акумуляторів при однакових габаритах більший, ніж у свинцево-кислотних.

Залежність між внутрішнім опором і ємністю НК акумулятора можна виразити наступною емпіричною формулою:

$$R_{\text{вн}} = \frac{0,35 - 0,4}{Q_{\text{н}}} \quad (9.11)$$

На рис. 9.5 приведена залежність внутрішнього опору НК акумулятора від ступеня його розрядженості. Внутрішній опір акумулятора практично мало змінюється до втрати ємності близько 85%. Потім він починає різко зростати. Це зростання пояснюється тим, що утворений при розряді  $\text{Ni(OH)}_2$  займає менший об'єм, ніж початковий продукт  $\text{NiOOH}$ , тому контакт між стінками ламелі (основи) і масою слабшає, що призводить до збільшення опору.

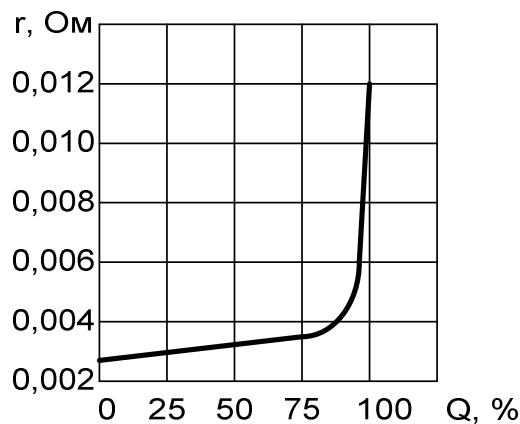


Рис. 9.5 – Залежність внутрішнього опору від ступеня розрядженості нікель-кадмієвого акумулятора

Внутрішній опір безламельних акумуляторів нижчий, ніж у ламельних. Цим пояснюється їх краща працездатність при коротких режимах розряду і низьких температурах.

Розглянемо розрядну напругу.

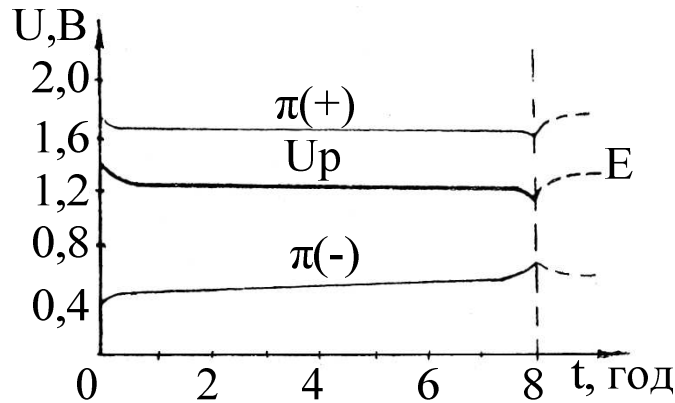


Рис. 9.6 – Графік розрядної напруги нікель-кадмієвого акумулятора при розрядному струмі, що дорівнює  $I_p=0,125 Q_n$ , і температурі  $+20^\circ\text{C}$

На рис. 9.6 приведений графік кривих розряду НК акумулятора струмом, який дорівнює  $I_p=0,125Q_n$ , до кінцевої напруги  $U_{\text{кін}}=1,1$  В при температурі електроліту  $+20^\circ\text{C}$ . При розряді зростає омичний і поляризаційний опір акумулятора, внаслідок чого розрядна напруга знижується. Згідно з (4.2), (9.7) і (9.6) потенціал електродів можна визначити за рівняннями

$$\pi_{(+)} = \pi_0 + \frac{0,058}{2} \lg \frac{1}{[\text{OH}^-]^2}; \quad (9.12)$$

$$\pi_{(-)} = \pi_0 + \frac{0,058}{2} \lg \frac{1}{[\text{OH}^-]^2} \quad (9.13)$$

У процесі розряду, як було відмічено, концентрація іонів  $\text{OH}^-$  поблизу позитивного електрода збільшується, а поблизу негативного – зменшується. Ось чому потенціал позитивного електрода (+) знижується, а потенціал негативного електрода (-) збільшується.

Нормальним режимом розряду прийнято вважати 8-годинний режим розряду до кінцевої напруги 1,1 В. При розряді струмами, що перевищують значення, яке чисельно дорівнює  $0,1Q_n$ , крива напруги переміщується у бік менших значень напруг і зменшується час розряду до кінцевої напруги розряду.

Розглянемо зарядну напругу.



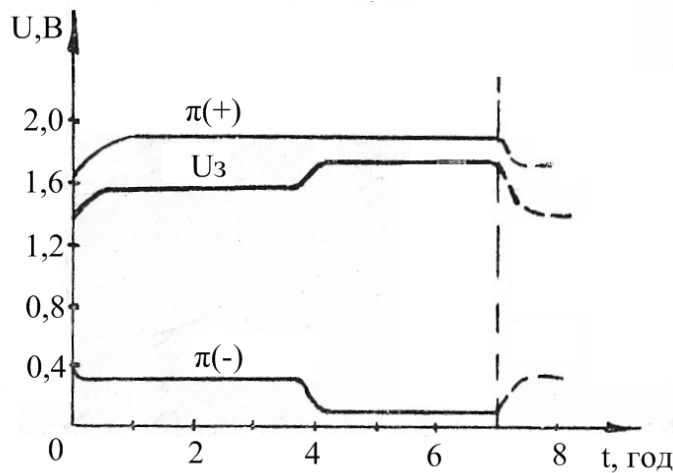


Рис. 9.7 – Графік зарядної напруги нікель-кадмієвого акумулятора при зарядному струмі, що дорівнює  $0,25Q_n$ , і температурі  $+20^{\circ}\text{C}$

На рис. 9.7 приведена залежність напруги НК акумулятора від часу заряду при струмі заряду, який чисельно дорівнює  $0,25Q_n$ .

Крива зміни потенціалу позитивного електрода спочатку дає стрибок вгору і потім йде майже паралельно осі абсцис.

Первинний стрибок характеризує початок нового електрохімічного процесу – виділення кисню.

Для кривої зміни потенціалу негативного електрода характерний стрибок вниз, що вказує на початок виділення водню, який починає екранувати активну масу негативного електрода. Оскільки в процесі заряду, як вже наголошувалося, густина електроліту залишається постійною, а газовиділення починається з самого початку заряду, то єдиною ознакою кінця заряду є зростання напруги до величини 1,7-1,8 В, яка залишається постійною. При заряді акумулятора при температурі нижче  $0^{\circ}\text{C}$  максимальна напруга на один акумулятор дорівнюватиме 2,0-2,2 В. Середньою напругою заряду прийнято вважати напругу 1,55-1,6 В.

На відміну від свинцево-кислотних акумуляторів, ємність НК акумуляторів мало залежить від величин розрядного струму. В основному це пояснюється постійністю густини електроліту в процесі розряду акумулятора, а також тим, що об'єм продуктів розряду майже не відрізняється від об'єму початкових продуктів. Тому закупорки капілярних отворів у товщі активної маси не відбувається. При струмах розряду, більших  $I_{p\text{ ном}}$ , відбувається значна втрата ємності внаслідок збільшення падіння напруги всередині акумулятора через підвищений внутрішній опір.

Падіння ємності при низьких температурах пояснюється, з одного боку, збільшенням опору електроліту, а з іншого боку, пасивуванням негативного електрода. Втрата ємності НК акумулятора внаслідок пониження температури – явище тимчасове. При нагріванні охолодженого акумулятора ємність швидко відновлюється.

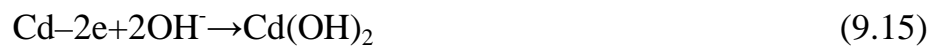
Підвищення температури викликає безповоротну втрату ємності акумулятора,

оскільки при цьому активна маса позитивного електроду починає розкладатися з утворенням слабо-гідратованого оксиду нікелю, який надалі при заряді не переходить назад в NiOOH.

Віддача за струмом у НК акумуляторів з ламельною конструкцією електродів складає 70%. Акумулятори з металокерамічними електродами мають вищу віддачу за струмом, що досягає 80-83%. Віддача за енергією у ламельних НК акумуляторів складає 50-60%, а в акумуляторів з металокерамічною конструкцією електродів вона складає 65-70%. Більше значення віддачі безламельних акумуляторів пояснюється кращим підведенням струму до активних мас і вищих коефіцієнтів їх використання. Слід зазначити, що віддача за ємністю у НК акумуляторів нижче, ніж у свинцево-кислотних.

Ємність зарядженого НК акумулятора з часом зменшується в результаті саморозряду.

Процес саморозряду негативного електрода відбувається за рахунок наявності кисню згідно з наступними рівняннями:



Крім того, спостерігається незначне виділення водню, що відбувається в результаті реакції витіснення:



Слід відзначити, що швидкість цієї реакції незначна, оскільки потенціали кадмієвого і водневого електродів у лужному розчині приблизно однакові:

$$\pi_{\text{Cd}} = -0,815 \text{ В}; \quad \pi_{\text{H}_2} = -0,829 \text{ В}$$

Процес саморозряду позитивного електрода обумовлений розпадом двоокису нікелю NiO<sub>2</sub>, яка утворюється під час заряду акумулятора:



Вміст NiO<sub>2</sub> у зарядженому акумуляторі досягає декількох відсотків від ваги активної маси. З огляду на те, що NiO<sub>2</sub> може існувати у вільному стані тільки при зниженій температурі або у присутності атомарного кисню, що має місце в процесі заряду акумулятора, саморозряд починається відразу ж після припинення заряду. Особливо інтенсивно цей процес протікає перші дві години, а потім починає зменшуватися. За першу добу після заряду основна маса NiO<sub>2</sub> руйнується. Втрата ємності на саморозряд за першу добу досягає 10-12% від номінальної ємності. Повний розпад NiO<sub>2</sub> відбувається через 20-25 діб. Середньодобова втрата ємності на саморозряд в НК акумуляторі за перший місяць складає 0,5% Q<sub>n</sub>.

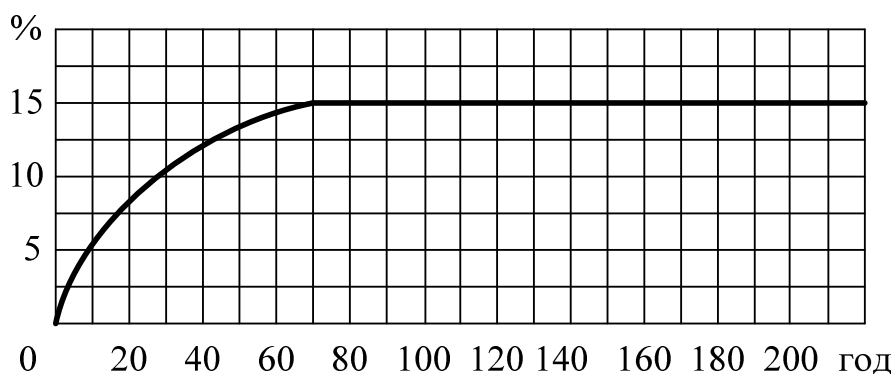


Рис. 9.8 – Крива саморозряду нікель-кадмієвого акумулятора

На рис. 9.8 наведена крива саморозряду НК акумулятора при нормальній температурі. У практиці експлуатації акумуляторам при заряді повідомляється ємність, більшу, ніж  $Q_n$ . Відразу після заряду проводять короткочасний «захисний» розряд, у процесі якого розряджаються вищі окисли нікелю і створюються сприятливі умови для мінімального саморозряду.

Потрібно відмітити, що процес саморозряду йде інтенсивніше при підвищеній температурі. Для зменшення саморозряду акумулятори необхідно зберігати, якщо дозволяють умови, при низькій температурі.

Термін служби НК акумуляторів залежить від низки причин.

До таких причин відносяться:

- концентрація електроліту;
- постійна робота акумулятора при підвищених температурах;
- глибокі розряди;
- домішки, що містяться в електроліті та в активних масах електродів;
- порушення правил експлуатації.

Ламельні НК акумулятори володіють найбільшим терміном служби в порівнянні з відомими практично вживаними акумуляторами.

Термін служби НК акумулятора визначається станом позитивного електроду. Існує декілька точок зору на причини зниження електрохімічної активності окисно-нікелевого електрода. Так, наприклад, П. Д. Луковцев вважає, що причиною зниження ємності окисно-нікелевого електрода є укрупнення кристалів оксиду і впорядкування їх структури. Крім того, отруйливу дію на електрод чинять домішки таких елементів, як залізо, алюміній, кремній.

Згідно з ГОСТ 9240-71 термін служби НК акумулятора із застосуванням складеного калієвого електроліту густиною 1,19-1,21 г/см<sup>3</sup> повинен складати не менше 1000 циклів, причому середня ємність повинна бути не менше 80%. Термін зберігання НК акумуляторів у розрядженому стані повинен бути не більше 5 років, зокрема 4,5 роки в сухому закритому приміщенні. Фактичний термін зберігання НК акумуляторів у багато разів перевищує гарантійний. Відомі випадки експлуатації НК акумуляторів впродовж більше 25 років.

## 10. ЕКСПЛУАТАЦІЯ НІКЕЛЬ – КАДМІЄВИХ АКУМУЛЯТОРІВ

### 10.1 Приведення в дію

У СЕП знайшли широке застосування НК акумулятори як в герметичному (загерметизованому), так і у відкритому виконанні.

НК акумулятори відкритого виконання після розконсервування і зовнішнього огляду заливають електролітом з густиною, вказаною в інструкції з експлуатації певного типу акумуляторів.

Після двогодинного просочення пластин електролітом проводять вимірювання напруги акумуляторів за допомогою вольтметра, потім перевіряють рівень електроліту. Висота рівня електроліту над пластинами повинна бути не менше 5 мм і не більше 10 мм. Після перерахованих підготовчих операцій батарею акумуляторів вмикають на заряд. Заряд проводиться таким чином: 6 годин при  $I_3 = I_{3\text{ном}}$ ; 6 годин при  $I_3 = 0,5I_{3\text{ном}}$ . Потім проводять розряд нормальним розрядним струмом протягом 4 годин. Двох таких циклів цілком достатньо для приведення відкритих акумуляторів у дію. Останній розряд необхідно довести до 1 В у кожному акумуляторі. Після цього виливають електроліт, промивають акумулятори 2-3 рази дистильованою водою, заливають новий електроліт і проводять розряд. Таким чином видаляють карбонати, які зазвичай присутні в значній кількості в активній масі позитивних пластин.

Загерметизовані НК акумулятори випускаються заводом-виробником в зарядженому стані. Перед постановкою в експлуатацію ці акумулятори піддаються розконсервуванню, потім проводяться виміри опору ізоляції й ЕРС. Акумулятори придатні до експлуатації при опорі ізоляції не менше 10 МОм і рівні ЕРС не нижче 1,25 В.

Герметичні нікель-кадмієві (НКГ) акумулятори випускаються заводом-виробником як в зарядженому, так і в розрядженому стані. Розряджені НКГ акумулятори перед постановкою в експлуатацію заряджають від окремого джерела електричної енергії. Режим заряду визначається інструкцією з експлуатації певного типу НКГ акумулятора.

### 10.2 Основні несправності

За відсутності механічних пошкоджень, що призводять до відмови окремих елементів відкритого НК акумулятора, основною несправністю їх можна вважати втрату ємності. Причини зниження терміну служби відкритих НК акумуляторів розглядалися вище.

Процес відновлення акумуляторів, що втратили 25-40% своєї ємності, полягає в зміні калієвого електроліту на натрієвий з подальшою зарядкою. Здійснюється це таким чином. З акумулятора виливають електроліт, 2-3 рази промивають його дистильованою водою, заливають розчином їдкого натра густиною 1,17-1,18 г/см<sup>3</sup>

і витримують протягом 2 годин. Потім повідомляють акумулятору два цикли заряд-розряд. Після зміни електроліту акумулятор піддають двократному заряду і розряду. Якщо акумулятор на останньому циклі віддав не менше 85%  $Q_n$ , то його вважають придатним для експлуатації.

Механізм процесу відновлення ємності за допомогою їдкого натра поки не вивчений.

Окрім втрати ємності у відкритих (загерметизованих) НК акумуляторів, можливе також зниження рівня опору ізоляції внаслідок течі електроліту і наростання карбонатів (повзучих солей). Ця несправність усувається шляхом заміни елементів, ущільнювачів, з подальшою промивкою і чищенням поверхні акумулятора. При несправності вентиляльної пробки можливе спучення стінок посудини акумулятора.

При експлуатації НКГ акумуляторів основними несправностями є розгерметизація посудини і «переполюсовка» акумулятора. Розгерметизація посудини (теча електроліту) є наслідком неправильної експлуатації, наприклад, перезаряду акумулятора. Перевищення нормального зарядного струму і часу заряду призводить до розгерметизації і до вибуху акумулятора. Для того, щоб уникнути явища «переполюсовки», не рекомендується знімати з НКГ акумуляторів повну розрядну ємність. В інструкціях з експлуатації таких акумуляторів міститься попередження про те, що глибокий розряд (при кінцевій напрузі менше 1 В) приводить до виходу акумулятора з ладу.

У практиці експлуатації іноді зустрічається підвищений саморозряд або коротке замикання НКГ акумулятора. Ці несправності є наслідком проростання між електродами кристалів солей небажаних елементів.

## 11. КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АКУМУЛЯТОРІВ

Споживачі електроенергії висувають підвищені вимоги до її якості та безперервності постачання. Умовою забезпечення цих вимог, разом з іншими заходами, є постійний достовірний контроль технічного стану джерел електричної енергії.

Електрохімічні акумулятори порівняно з іншими джерелами електричної енергії мають свої специфічні особливості, обумовлені безпосереднім перетворенням хімічної енергії окислювально-відновних процесів у енергію електричну. Ці особливості визначають низку параметрів, що відповідають за технічний стан електрохімічного акумулятора. Такими параметрами можуть бути: напруга на клеммах акумулятора, напруга на допоміжному електроді, електрична ємність акумулятора, об'єм і швидкість газовиділення і тиск всередині корпусу акумулятора, густина електроліту; внутрішній опір, фарадеєвська ємність акумулятора, інтенсивність відновлення ЕРС на клеммах акумулятора після відключення еталонного навантаження.

Напруга на клеммах акумулятора при експлуатації в більшій мірі характеризує його стан, ніж ЕРС. Передумовою для використання напруги акумулятора для контролю є наявність ряду емпіричних залежностей кінцевої зарядної або розрядної напруги від величини повідомленої або знятої ємності (4.4).

Контроль за закінченням процесу заряду за напругою на клеммах прийнятний в основному для свинцево-кислотних акумуляторів (рис. 5.14) і не придатний для нікель-кадмієвих акумуляторів через особливості їх характеристик (рис. 9.7). Вони полягають у відсутності характерного вигину на характеристиці «напруга-ступінь заряду» в кінці заряду, значної залежності напруги акумулятора від величини зарядного струму і температури електроліту і т.п.

Завдяки доступності для вимірювання та реалізації пристроїв контролю параметр «напруга на клеммах акумулятора» використовується в тих випадках, коли потрібна невисока точність визначення ступеня розрядженості або коли необхідно мати інформацію для управління зарядно-підзарядними перетворювальними агрегатами.

Напруга на допоміжному електроді для контролю може бути використана при експериментальних дослідженнях процесів, що відбуваються всередині акумулятора. Застосування допоміжного електроду для контролю засноване на його властивості генерувати відносно високу ЕРС у момент закінчення заряду, коли в акумуляторі існує надмірний тиск кисню і водню, які утворилися в результаті електролізу води. Існують різні конструкції допоміжних електродів: водневий, ртутний, нікелевий та ін. На практиці експлуатації електрохімічних акумуляторів допоміжні електроди не набули широкого застосування через необхідність ускладнення конструкції акумулятора, не зважаючи на досить високу його інформаційну здатність (точність вимірювання за допомогою допоміжного електроду складає близько 3%).

Електрична ємність акумулятора є основним параметром, що визначає технічний стан акумулятора як автономного джерела електричної енергії. Визначити ступінь розрядженості акумулятора можна різними способами: за допомогою розрахункових методів, в яких використовуються емпіричні залежності, що зв'язують між собою ряд параметрів, за допомогою лічильників ампер-годин, контролюючих ємність, що повідомляється і витрачається; за допомогою пристроїв контролю залишкової ємності. На сьогодні відомі електромеханічні, електрохімічні й електронні пристрої, що дозволяють оцінювати кількість електрики. Точнішими є електронні пристрої, побудовані за допомогою цифрових методів вимірювання.

Об'єм і швидкість газовиділення, тиск газу всередині корпусу акумулятора є параметрами, що визначають закінчення заряду акумулятора. Спосіб контролю стану акумуляторів за газовиділенням може застосовуватися як для свинцево-кислотних, так і для лужних акумуляторів. Проте слід зазначити складність технічної реалізації такого контролю. В якості чутливого елемента застосовуються датчики витрати газу, швидкості газовиділення, тиску.

Контроль за тиском особливо актуальний для акумуляторів у герметичному виконанні, у яких надмірний внутрішній тиск може привести до здуття корпусу і його розгерметизації.

Як вже наголошувалося, густина електроліту є важливою експлуатаційною характеристикою акумулятора. Густина електроліту в свинцево-кислотних акумуляторах залежить від ступеня їх розрядженості. Ступінь розрядженості таких акумуляторів може бути орієнтовно визначена за даними про густину електроліту з урахуванням його температури.

Таблиця 11.1 – Значення густини електроліту при різному ступені розрядженості свинцево-кислотних стартерних акумуляторів для температури +15°C

| Густина електроліту зарядженого акумулятора, г/см <sup>3</sup> | Густина електроліту акумулятора (г/см <sup>3</sup> ), розрядженого на |            |             |
|--|---|------------|-------------|
|  | <b>25%</b>  | <b>50%</b> | <b>100%</b> |
| 1,310  | 1,270   | 1,230      | 1,190       |
| 1,290  | 1,250   | 1,210      | 1,160       |
| 1,280  | 1,210   | 1,200      | 1,150       |
| 1,270  | 1,230   | 1,190      | 1,140       |
| 1,250  | 1,210   | 1,170      | 1,100       |
| 1,230  | 1,190   | 1,150      | 1,080       |

У нікель-кадмієвих акумуляторах густина електроліту в діапазоні зміни ємності практично не змінюється.

На практиці експлуатації свинцево-кислотних акумуляторів набули використання різні датчики, що визначають рівень, густину і температуру електроліту.

Внутрішній опір акумуляторів залежить від ступеня їх зарядженості. На сьогодні існує низка формул, які зв'язують в аналітичні залежності внутрішній опір акумулятора з іншими його параметрами. Величина внутрішнього опору мала і трохи змінюється в діапазоні зміни ємності. Так, наприклад, внутрішній опір повністю зарядженого стаціонарного свинцево-кислотного акумулятора типу С-1 складає  $36 \cdot 10^{-4}$  Ом, а повністю розрядженого –  $70 \cdot 10^{-4}$  Ом. Для контролю стану акумулятора за величиною його внутрішнього опору необхідна високоточна вимірювальна апаратура. У практиці експлуатації контроль технічного стану за оцінкою величини його внутрішнього опору не знайшов застосування через складність приладової реалізації.

Існує аналогія між деякими властивостями акумулятора і звичайного конденсатора. Ця аналогія покладена в основу методу визначення ступеня зарядженості акумуляторів за величиною їх фарадеєвської ємності. Дослідження, проведені Латнером, показали, що існує досить близька до пропорційної залежність між кулонівською і фарадеєвською ємностями акумулятора. Вимірюючи конденсаторну ємність акумулятора, можна з точністю 7-8% визначити ступінь його розрядженості. Слід відзначити велику складність апаратурної реалізації такого способу контролю технічного стану акумулятора.

Інтенсивність відновлення ЕРС на клеммах акумулятора після відключення еталонного навантаження як параметр була запропонована в сімдесятих роках і почала застосовуватися в системах електропостачання, в яких електрохімічні акумулятори є основним джерелом електричної енергії. У цих системах до достовірності інформації про технічний стан акумуляторів висуваються високі вимоги. В основу цього способу контролю покладена особливість електрохімічного акумулятора з різною інтенсивністю відновлювати свою ЕРС до деякого рівня після відключення еталонного навантаження при різних ступенях розрядженості.

Слід зазначити, що в практиці експлуатації акумуляторних батарей знайшли широке застосування датчики опору ізоляції, що дозволяють визначити, наприклад, течу електроліту в акумуляторах герметичної конструкції.

Для контролю технічного стану може бути використаний будь-який з приведених вище параметрів. На практиці застосовують комбінацію датчиків, що дозволяють оцінювати декілька параметрів акумулятора одночасно, що дозволяє підвищити надійність джерела електричної енергії та забезпечити оптимальні режими його експлуатації.



НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

ДАЛЕКА Василь Хомич,  
ХВОРОСТ Микола Васильович,  
ГОЛТВ'ЯНСЬКИЙ Микола Антонович,  
ГОРДІЄНКО Ольга Сергіївна

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ  
з дисциплін

**«РЕМОНТ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО  
ТРАНСПОРТУ»,  
«РЕМОНТ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ»**

**ЧАСТИНА 4. «ОСНОВИ РЕМОНТУ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ»**

(для студентів 4 і 5 курсів денної та заочної форм навчання  
курсу за напрямом підготовки 6.050702 «Електромеханіка» спеціальності  
«Електричний транспорт»)

Відповідальний за випуск *проф., д.т.н. В. Х. Далека*  
Редактор *С. В. Тимощук*  
Комп'ютерне верстання *О. А. Балашова*

План 2010, поз. 72Л

---

Підп. до друку 31.05.12  
Друк на ризографі.  
Тираж 50 пр.

Формат 60x84/16  
Ум. друк. арк. 6,64  
Зам. №

Видавець і виготовлювач:  
Харківська національна академія міського господарства,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002  
Електронна адреса: [rectorat@ksame.kharkov.ua](mailto:rectorat@ksame.kharkov.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 4064 від 12.05.2011