

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА



В. І. ГАВРИЛЮК, В. Г. СИЧЕНКО,
Т. М. СЕРДЮК

Електроживлення систем залізничної автоматики, телемеханіки та зв'язку

МОНОГРАФІЯ

ЗА ЗАГАЛЬНОЮ РЕДАКЦІЄЮ Д-РА ФІЗ.-МАТ. НАУК, ПРОФ. В. І. ГАВРИЛЮКА

ДНІПРОПЕТРОВСЬК
2016

УДК 656.25:621.311.6(075.8)
ББК 39.275.8(УКР)

Автори:

*Гаврилюк Володимир Ілліч,
Сиченко Віктор Григорович, Сердюк Тетяна Миколаївна*

Рецензенти:

д-р техн. наук, проф. *А. Б. Бойнік,*
д-р техн. наук, проф. *А. М. Муха,*
д-р фіз.-мат. наук, проф. *О. В. Коваленко*

Рекомендовано до друку вченою радою
Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
(протокол № 7 від 30.11.15)

УДК 656.25:621.311.6(075.8)

Гаврилюк, В. І.

Електроживлення систем залізничної автоматики, телемеханіки та зв'язку [Текст]: монографія / В. І. Гаврилюк, В. Г. Сиченко, Т. М. Сердюк; за заг. ред. В. І. Гаврилюка; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2016. – 193 с.

ISBN 978-966-8471-71-1

У монографії розглянуто схеми, конструкцію, принцип дії та особливості функціонування первинних та вторинних джерел електричної енергії живлення систем залізничної автоматики, телемеханіки та зв'язку. Наведено класифікації випрямлячів, стабілізаторів, інверторів, методику розрахунку та вибору параметрів пристроїв електроживлення систем автоблокування та електричної централізації.

Для інженерно-технічних працівників, що займаються питаннями проектування та експлуатації пристроїв електроживлення, а також студентів і аспірантів ВНЗ.

Лл. 73. Табл. 17. Бібліогр.: 43 назв.

ISBN 978-966-8471-71-1

© В. І. Гаврилюк, В. Г. Сиченко,
Т. М. Сердюк, 2016
© Дніпропетр. нац. ун-т залізн.
трансп. ім. акад. В. Лазаряна,
оригінал-макет, 2016

З М І С Т

ВСТУП.....	5
ХІМІЧНІ ДЖЕРЕЛА СТРУМУ.....	7
1.1. Порівняння типів батарей.....	8
1.2. Свинцеві акумулятори.....	11
1.2.1. Кислотні акумулятори залізничної автоматики.....	12
1.2.2. Хімічні процеси у кислотних акумуляторах.....	19
1.2.3. Електричні характеристики свинцево-кислотних акумуляторів.....	25
1.2.4. Режими роботи та види заряду свинцево-кислотних акумуляторів.....	30
1.2.5. Загальні правила експлуатації.....	33
1.3. Лужні акумулятори.....	36
1.3.1. Конструкція і принцип дії лужних акумуляторів.....	38
1.3.2. Характеристики лужних акумуляторів.....	40
1.3.3. Основні експлуатаційні вимоги.....	43
1.4. Літій-іонні та літій-полімерні акумулятори.....	45
1.5. Алкалінові акумулятори.....	50
1.6. «Розумні» батареї.....	51
ВИПРЯМЛЯЧІ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ ТА ЗВ'ЯЗКУ.....	55
2.1. Однофазні схеми випрямлення.....	56
2.1.1. Однофазна однонапівперіодна схема.....	56
2.1.2. Однофазна двонапівперіодна схема випрямлення з середньою точкою.....	61
2.1.3. Однофазна мостова схема Греця.....	67
2.1.4. Зовнішня характеристика випрямляча.....	72
2.2. Трифазні схеми випрямлення.....	73
2.2.1. Трипульсова (нульова) схема випрямлення.....	74
2.2.2. Трифазна мостова схема випрямлення.....	78
2.2.3. Дванадцятипульсова схема випрямлення.....	82
2.3. Перехідні процеси в некерованому випрямлячі.....	86
2.4. Перехідні процеси в керованому випрямлячі.....	91
2.5. Груповий діод.....	93

2.6. Регулювання випрямленої напруги	96
2.7. Коефіцієнт корисної дії та коефіцієнт потужності випрямляча	98
2.8. Вищі гармоніки в кривій струму у первинній обмотці трансформатора	102
2.9. Вищі гармоніки в кривій випрямленої напруги	105
2.10. Згладжуючі фільтри. Спряження випрямленої напруги	108
ІНВЕРТОРИ ТА ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЧАСТОТИ	115
3.1. Класифікація інверторів	116
3.2. Залежні інвертори	118
3.3. Автономні (незалежні) інвертори	122
3.3.1. Двотактний паралельний тиристорний інвертор з комутуючою ємністю (автономний інвертор)	122
3.3.2. Однофазний послідовний інвертор з активно-індуктивним навантаженням	127
3.4. Напівпровідникові перетворювачі	131
3.4.1. Напівпровідниковий перетворювач типу ПП-0,3М	131
3.4.3. Напівпровідниковий перетворювач-випрямляч типу ППВ-1	136
3.4.3. Напівпровідниковий перетворювач типу ППС-1,7	138
3.4.4. Перетворювач напівпровідниковий типу ППШ-3	140
3.5. Перетворювач частоти ПЧ-50/25	143
ІМПУЛЬСНІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ	151
4.1. Однотактні імпульсні джерела живлення	152
4.1.1. Однотактні імпульсні джерела живлення з діодом у вихідному каскаді, що замикає	152
4.1.2. Однотактні імпульсні джерела живлення з діодом у вихідному каскаді, що пропускає	153
4.2. Двотактні імпульсні джерела живлення	155
4.3. Особливості експлуатації імпульсних джерел	158
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ ТА ТЕЛЕМЕХАНІКИ	160
5.1. Класифікація електроустановок залежно від умов електропостачання	160
5.2. Енергопостачання пристроїв автоблокування	164
5.3. Основні та резервні пункти живлення	170
5.4. Системи електроживлення пристроїв залізничної автоматики	172
5.4.1. Система живлення змінним струмом	172
5.4.2. Змішана система живлення	177
5.5. Електроживлення від високовольтних проводів, підвішених на опорах контактної мережі	179
ДОДАТОК А	184
ДОДАТОК Б	187
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	192

ВСТУП

Безпечне функціонування пристроїв залізничної автоматики вимагає стійкості та надійності систем їх електроживлення. Якісне електропостачання – це забезпечення споживачів електричною енергією з нормованими параметрами показників якості електричної енергії.

Надійна та безперебійна робота систем та пристроїв автоматики, телемеханіки та зв'язку в значній мірі визначає безпеку руху поїздів. Тому до неї ставляться дуже суттєві вимоги у відношенні надійності пристроїв та систем електроживлення цієї апаратури. І недаремно пристрої залізничної автоматики та зв'язку відносяться до електроспоживачів особливо важливої першої категорії і живляться як постійним, так і змінним струмом при заданих напругах і струмах. Акумуляторні батареї виконують роль резервних джерел і забезпечують повну безперервність електроживлення пристроїв автоматики.

Пристрої електроживлення повинні мати високі коефіцієнти корисної дії і потужності. Це може бути досягнуто лише шляхом раціонального їх проектування.

Для сучасної і перспективної цифрової апаратури, яка має пристрої пам'яті і мікропроцесорні функціональні вузли, вимоги до якості електроживлення істотно жорсткіші, тому що навіть короткочасні імпульсні зміни напруги живлення тривалістю в частки мікросекунд і більше можуть привести до повної втрати оперативної інформації або баз, невірному рішенню функціонального завдання і необоротній катастрофічній відмові пристроїв пам'яті. Невідповідність реальної живлячої напруги вимогам нормативної документації може викликати значну затримку введення електронної апаратури в експлуатацію, що практично мало місце на ряді залізниць при поставці складних закордонних комп'ютерних комунікаційних систем. У найбільш значному ступені

негативний вплив якості параметрів живлячої напруги стає визначальним, тому що застосовувані на залізничному транспорті електронні системи з інформаційних стають керуючими. Таким чином, надійність роботи систем залізничної автоматики значною мірою визначається системою електроживлення.

Автори виражають вдячність рецензентам д-ру техн. наук, проф. А. Б. Бойніку, д-ру техн. наук, проф. А. М. Мусі, д-ру фіз.-мат. наук, проф. О. В. Коваленку, першому читачу (літературному редактору) канд. техн. наук А. І. Сердюк, працівникам рекламного-видавничого відділу Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, які разом з авторами доклали чимало праці, щоб зробити книгу сучасною.

Хімічні джерела струму

Електричним акумулятором називають хімічне джерело постійного струму, що здатний накопичувати (акумуляувати) електричну енергію й віддавати її в міру потреби. Активні речовини, витрачені при розряді акумуляторів, легко відновлюються при заряді, коли акумулятори підключають до стороннього джерела постійного струму. Споживана при заряді електрична енергія перетворюється в хімічну.

Заряд і розряд акумулятора можна проводити сотні раз, у той час як первинні елементи розряджаються тільки один раз. У цьому полягає принципова відмінність акумуляторів від первинних елементів.

Найбільше застосування в системах залізничної автоматики та зв'язку знайшли три різновиди акумуляторів: свинцеві (кислотні), у яких активною масою позитивного електрода служить двоокис свинцю, негативного – губчатий свинець, а електролітом є водяний розчин сірчаної кислоти; нікель-залізні та нікель-кадмієві (лужні), у яких активною масою позитивного електрода є гідроокис нікелю, негативного – залізо або кадмій, а електролітом є водяний розчин лугу; срібно-цинкові, у яких активною масою позитивного електрода є окисли срібла, негативного електрода – цинк, а електролітом є водяний розчин лугу.

Для електроживлення залізничної автоматики й телемеханіки в основному застосовують свинцеві акумулятори. Вони мають високий коефіцієнт корисної дії (ККД) і незначне зниження напруги при розряді.

У порівнянні зі свинцевими акумуляторами нікель-залізні та нікель-кадмієві акумулятори мають менший ККД і більш значну зміну напруги при розряді, але мають високу механічну міцність. Тому їх звичайно застосовують у якості переносних або тимчасових джерел електроживлення різної апаратури. Лугові акумулятори мають високі питомі характеристики, стабільну напругу при розряді та можуть віддавати більший струм при короткочасному розряді.

1.1. Порівняння типів батарей

Розглянемо переваги й недоліки сучасних акумуляторних батарей. Вони характеризуються не тільки щільністю енергії, але також терміном служби, вимогами по установці, ступенем саморозряду й експлуатаційних витрат. Класикою серед акумуляторних батарей є нікель-кадмієві батареї. Тому приймаємо їх за еталон, щодо якого розглянемо плюси та мінуси батарей інших типів.

Нікель-кадмієві акумуляторні батареї (NiCd) використовуються досить давно, але вони мають відносно низьку енергетичну щільність. Вони забезпечують тривалий термін служби, високі значення струму розряду і порівняно низьку вартість. Основна область застосування радіостанцій, біологічне й медичне устаткування, професійні відеокамери й електроінструмент. Нікель-кадмієві батареї містять токсичні речовини і несуть у собі небезпеку для навколишнього середовища.

Нікель-металгідридні акумуляторні батареї (NiMH) мають більш високу в порівнянні з нікель-кадмієвими батареями енергетичну щільність, але й менший термін служби. Вони не містять токсичних речовин. Застосовуються в мобільних телефонах і ноутбуках.

Свинцево-кислотні акумуляторні батареї (*C, CK, АБН, SLA, VRLA, SLI* та ін.) найбільш вигідні при використанні в енергоємних системах, де питання їхньої ваги істотного значення не має. Вони щонайкраще підходять для застосування в якості резервного джерела електричної енергії на постах електричної централізації та переїзної сигналізації на залізницях України, джерелах безперебійного живлення, системах аварійного освітлення, в лікарняному устаткуванні й в автомобільній техніці.

Літій-іонні акумуляторні батареї (*Li-Ion*) більш за все підходять для використання в пристроях та системах, де необхідно забезпечити високу ємність й одночасно тверді вимоги щодо їхньої ваги. Вони мають дуже високу енергетичну щільність і малу вагу – найбільш важливі переваги будь-як акумуляторних батарей. Однак при цьому вимагають суворого дотримання правил експлуатації й техніки безпеки. Застосовуються в ноутбуках, відеокамерах і мобільних телефонах.

Літій-полімерні акумуляторні батареї є більш дешевою версією літій-іонних батарей, бо мають східний принцип дії. Вони можуть мати тонкий корпус і найчастіше застосовуються в мобільних телефонах.

Алкалінові батареї, що перезаряджаються, замінюють деякі типи акумуляторних батарей у побутових електронних пристроях. Вони мають обмежений термін дії, що компенсується зниженим саморозрядом. Це дозволяє вважати їх ідеальними для застосування в портативних пристроях та фотоапаратах.

У табл. 1.1 наведені порівняльні характеристики шести основних типів акумуляторних батарей. Аналізуючи ці дані, слід зазначити наступне:

- внутрішній опір батареї залежить від внутрішнього опору кожного її елемента, типу схеми захисту й кількості елементів у батареї. Схема захисту літій-іонних і літій-полімерних батарей збільшує їхній внутрішній опір у середньому на 100 мОм (0,1 Ом);

- термін дії акумуляторної батареї залежить від регулярності її обслуговування. Повний періодичний розряд може привести до його зменшення майже в три рази за короткий строк;

- термін дії залежить також і від ступеня розряду – при часткових розрядах він більше, ніж при повних;

- найбільший струм розряду нікель-кадмієвих і нікель-металгідридних батарей є можливим відразу ж після заряду, потім його значення зменшується. Нікель-кадмієві батареї втрачають 10 % своєї ємності протягом перших 24 годин після заряду, потім зниження ємності становить близько 10 % кожні 30 днів. Саморозряд збільшується з ростом температури;

- схема або кола захисту, встановлені усередині літій-іонних і літій-полімерних акумуляторних батарей, споживає близько 3 % їхньої енергії на місяць;

- типові номінальні значення напруги нікель-кадмієвих і нікель-металгідридних батарей становить 1,25 В в режимі холостого ходу та 1,2 В під навантаженням. Це справедливо для будь-яких елементів таких батарей;

- допускається заряд кислотних акумуляторних батарей імпульсами струму збільшеної величини.

Цікаво, що нікель-кадмієві акумуляторні батареї мають найменший час заряду, допускають найбільший струм навантаження й мають найменше співвідношення ціна–термін дії, але потребують точного дотримання вимог згідно правил експлуатації.

Таблиця 1.1

Характеристики акумуляторних батарей

Характеристики	Типи акумуляторних батарей					
	Нікель-кадмієві	Нікель-металгідридні	Кислотні	Літій-іонні	Літій-полімерні	Алкалинові
Енергетична щільність, Вт/кг	45...80	60...120	30...50	110...160	100...130	80
Внутрішній опір, мОм	100...200	200...300	Менш 100	150...250	200...300	200...2 000
Число циклів заряд-розряд до зниження ємності на 80 %	1 500	300...500	200...300	500...1 000	300...500	50 (зниження ємності на 50 %)
Час швидкого заряду, год.	1	2...4	8...16	2...4	2...4	2...3
Припустимий перезаряд, раз	20	30	5	10	10	0,3
Саморозряд за місяць при температурі +15...+25 °С, %	20	30	5	10	10	0,3
Номінальна напруга батареї (на елементі), В	6 (1,25)	6 (1,25)	12 (2)	7,2 (3,6)	7,2 (3,6)	6 (1,5)
Струм відносно ємності акумулятора (Q):						
максимальний	20Q	5Q	5Q	2Q	2Q	0.5Q
номінальний	1Q	до 0.5Q	0.2Q	до 1Q	до 1Q	0.2Q
Робоча температура, °С	-40...60	-20...60	-20...60	-20...60	0...60	0...65
Періодичність обслуговуван.	30...60 діб	60...90 діб	3...6 місяців	нерегулярне	нерегулярне	нерегулярне
Рік введення в виробництво	1950	1990	1970	1991	1999	1992

1.2. Свинцеві акумулятори

Перший свинцево-кислотний акумулятор було розроблено в 1859 р. французьким вченим Гастоном Планте. Його конструкція являла собою електроди з листового свинцю, розділені сепараторами з полотна. Сепаратори були згорнуті в спіраль і поміщені в посудину з 10 % розчином сірчаної кислоти.

Недоліком перших свинцево-кислотних акумуляторів була їхня низька ємність. Спочатку намагалися її збільшити за рахунок великої кількості циклів заряд-розряд. Для досягнення істотних результатів було витрачено біля двох років таких випробувань. Причина недоліку була явною – конструкція пластин. Тому подальше вдосконалювання конструкції свинцево-кислотних акумуляторів було спрямовано на модернізацію конструкції пластин та сепараторів.

В 1880 р. К. Фор запропонував технологію виготовлення намазних електродів. При цьому електроди виготовлялися шляхом нанесення на пластини окислів свинцю. Така конструкція дозволила значно збільшити ємність акумуляторів. А в 1881 р. Э. Фолькмар запропонував використовувати електроди, які мали вигляд решітки з намазаною на них діючою речовиною. У тому ж році вченому Селлону був виданий патент на технологію виготовлення решіток зі сплаву свинцю й сурми.

Спочатку практичне застосування свинцево-кислотних акумуляторів було ускладнено через відсутність зарядних пристроїв. Для заряду використовували первинні елементи конструкції Бунзена. Тобто хімічне джерело струму заряджалося від іншого хімічного джерела – батареї гальванічних елементів. Ситуація істотно змінилася з появою генераторів постійного струму.

Саме свинцево-кислотні акумулятори знайшли широке комерційне застосування першими в світі. У багатьох промислово розвинутих країнах к 1890 р. почався їх серійний випуск. А в 1900 р. німецька фірма Varta випустила перші стартерні акумулятори для автомобілів.

В 70-х роках минулого сторіччя були створені свинцеві акумулятори, що не потребують обслуговування та здатні працювати в будь-якому положенні. Рідкий електроліт в них було замінено гелевим. Тобто електроліт мав вигляд желе, яке було отримано в результаті змішування розчину сірчаної кислоти із загуснувачем (звичайно це двоокис кремнію SiO_2 – силікагель). Батареї є герметичними. Такі

аккумулятори можна віднести до аккумуляторів другого покоління. Для відведення газів, які виділяються при заряді (розряді) аккумулятора, встановлені клапани безпечності. Також розроблені нові конструктивні типи пластин з використанням мідно-кальцієвих сплавів, покритих оксидом свинцю, на основі титанових, алюмінієвих та мідних решіток.

Технологія виробництва гелевих батарей одержала назву GEL. Гелеві батареї протягом усього терміну експлуатації не мають потреби в обслуговуванні, їх не можна розкривати. Для заряду необхідно використовувати зарядні пристрої з нестабільною напругою на виході (коливання напруги на виході повинно бути не менш $\pm 1\%$) для запобігання рясного газовиділення. Такі аккумуляторні батареї критичні до температури навколишнього середовища.

Батареї третього покоління – це герметичні батареї з абсорбованим сепараторами електролітом. Часто їх називають батареями, зібраними по AGM-технології. AGM – Absorbed in Glass Mat, тобто технологія, при якій електроліт абсорбований у сепараторах зі скловолокна, розміщених між електродами. Такий сепаратор являє собою пористу систему, у якій капілярні сили утримують електроліт. При цьому кількість електроліту дозується так, щоб дрібні пори були заповнені, а великі залишалися вільними для циркуляції газів, що виділяються. За своїми властивостями AGM батареї подібні до гелевих, за винятком того, що газоутворення в них істотно менше, а їх робота в меншій мірі залежить від температури навколишнього середовища. Як і у гелевих аккумуляторних батареях, для заряду AGM батареї необхідно використовувати зарядні пристрої, що забезпечують нестабільну напругу на виході (коливання напруги повинно бути не менш $\pm 1\%$).

1.2.1. Кислотні аккумулятори залізничної автоматики

На залізницях України застосовують стаціонарні свинцеві аккумулятори типів *C*, *CK*, *C3*, *CE* та *CH*. Букви позначають: *C* – стаціонарний, *CK* – допускає короткочасний розряд збільшеним струмом, *3* – у закритому виконанні, *H* – з намазаними пластинами, *E* – в ебонітовому баці.

Акумулятори типів *C* и *СК* використовують у діючих електроживильних залізничних установках (наприклад, на постах електричної централізації та тягових підстанціях). У цих акумуляторів немає кришки і тому пари сірчаної кислоти виділяються з поверхні електроліту у навколишнє повітря. Залежно від ємності акумуляторам типів *C* и *СК* привласнюють індекс від 1 до 148.

Для одержання номінальної ємності необхідно індекс акумулятора (1–148) помножити на 36. Отже, номінальна ємність акумуляторів *C-1* і *СК-1* дорівнює 36 А·год, *C-2* та *СК-2* – 72 А·год, *C-10* та *СК-10* – 360 А·год.

Акумулятори типів *C* и *СК* складаються із: скляної посудини (акумулятори типів *C-1–C-16*) або дерев'яного бака (акумулятори типів *C-16–C-148*); блоку позитивних пластин поверхневої конструкції; блоку негативних пластин коробчастої конструкції; сепараторів з кислотостійких синтетичних мікропористих матеріалів, що відокремлюють пластини різної полярності; електроліту (розчин сірчаної кислоти).

Позитивні пластини поверхневої конструкції (рис. 1.1) складаються з ребристої свинцевої решітки 1, на поверхні якої розміщується активна речовина 2. Завдяки ребристості збільшується поверхня активної речовини, підвищується електрична ємність пластин і всього акумулятора. Активний шар утворюється на ребристій поверхні в процесі спеціальної обробки пластин на заводі при електричному формуванні. Акумуляторні заводи випускають позитивні пластини білого формування. Активна речовина таких пластин складається із сірчаноокислого свинцю $PbSO_4$. Після заряду ця речовина переходить у двоокис свинцю PbO_2 .

Від'ємні пластини коробчастої конструкції (рис. 1.2) складаються із двох свинцевих решіток 1 з великими осередками 2. В осередках розміщується пастоподібна активна маса зі свинцевого порошку й сірчаної кислоти. Для того щоб активну масу пластин застерегти від усадки, до неї додають невелику кількість сірчаноокислого барію $BaSO_4$. Решітки, наповнені активною масою, накладають одна на одну, із зовнішніх сторін покривають тонкими перфорованими аркушами свинцю й з'єднують заклепками.

Розрізняють середні й крайні негативні пластини. Крайні негативні пластини відрізняються від середніх тим, що вони мають тільки одну активну сторону. Іншу сторону крайніх пластин, звернену до

стілки посудини, покривають суцільним аркушем свинцю. У стаціонарних акумуляторах типів *С* і *СК* застосовують три типи пластин: *И-1*, *И-2*, *И-4*, що відрізняються одна від одної розмірами і ємністю. Ці пластини з'єднують у блоки. У кожному свинцевому акумуляторі негативний блок містить на одну пластину більше, ніж позитивний. Це необхідно для того, щоб при роботі акумулятора позитивні пластини, що розташовані між негативними, не пошкоджувались (жолобилися). Пластини типу *И-1* встановлюють в акумуляторах типів *С-1–С-5*. Середні пластини цього типу мають ємність 36 А·год при 10-годинному режимі розряду. Тому в акумуляторах типу *С-1* встановлюють одну позитивну і дві негативні пластини типу *И-1*, а в акумуляторах типу *С-2* – дві позитивні й три негативні пластини того ж типу.

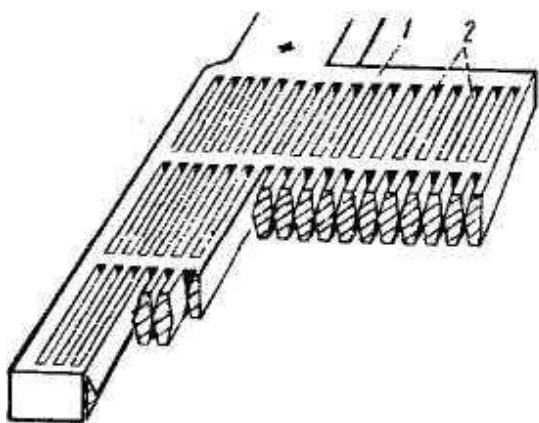


Рис. 1.1. Пластина свинцевого стаціонарного акумулятора поверхневого типу:

1– свинцева решітка; 2 – активна речовина

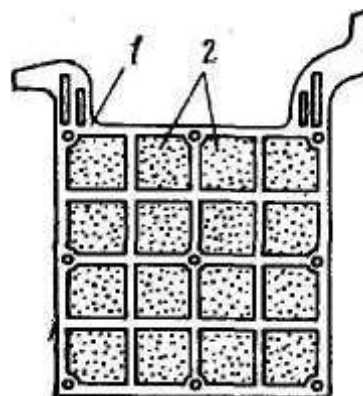


Рис. 1.2. Пластина свинцевого стаціонарного акумулятора коробчастого типу:

1– свинцева решітка; 2 – активна речовина

У порівнянні із пластинами типу *И-1* пластини типу *И-2* мають в 2 рази більші розміри і ємність. Ці пластини встановлюють в акумуляторах типів *С-6–С-20*. В акумуляторах більшої ємності (починаючи з акумуляторів типу *С-24*) встановлюють пластини типу *И-4* номінальною ємністю 144 А·год. Основні конструктивні дані й номінальні ємності стаціонарних акумуляторів типів *С* і *СК*, які застосовуються для електроживлення пристроїв залізничної автоматики й телемеханіки, наведені в табл. 1.2.

Для паралельного з'єднання декількох пластин однакової полярності в одній посудині та для послідовного з'єднання акумуляторів

в батарею застосовують свинцеві сполучні смуги. У батареях невеликої ємності (з акумуляторами типів *C-1*, *СК-1*, *СК-2*, *СК-3*) застосовують бічні сполучні смуги (рис. 1.3).

Таблиця 1.2

Характеристики свинцевих акумуляторних батарей

Тип акумулятору	Номінальна ємність, А·год	Тип пластин	Число пластин в акумуляторі		
			позитивних	середніх	крайніх
<i>C-1</i> , <i>C3-1</i>	36	<i>И-1</i>	1	—	2
<i>C-2</i> , <i>C3-2</i>	72	<i>И-1</i>	2	1	2
<i>C-3</i> , <i>C3-3</i>	108	<i>И-1</i>	3	2	2
<i>C-4</i>	144	<i>И-1</i>	4	3	2
<i>C-5</i> , <i>СК-5</i> , <i>C3-5</i>	180	<i>И-1</i>	5	4	2
<i>C-6</i> , <i>СК-6</i>	216	<i>И-2</i>	3	2	2
<i>C-8</i> , <i>СК-8</i>	288	<i>И-2</i>	4	3	2
<i>C-10</i> , <i>СК-10</i>	360	<i>И-2</i>	5	4	2
<i>C-12</i> , <i>СК-12</i>	432	<i>И-2</i>	6	5	2

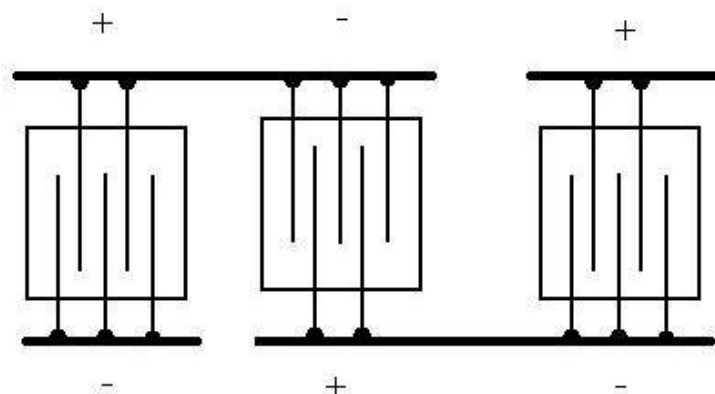


Рис. 1.3. З'єднання пластин та акумуляторів за допомогою свинцевих смуг

Пластини акумуляторів у цьому випадку розташовуються перпендикулярно поздовжньої осі стелажа. Акумулятори більшої ємності, починаючи з типів *C-4* і *СК-4*, з'єднуються в батарею поперечними сполучними смугами. Акумулятори типів *C-1–C-4* виконують зі

сполучними смугами такого перетину, щоб вони були придатні для тривалих і для короткочасних розрядів. Акумулятори типу *C-5–C-148* відрізняються від акумуляторів типів *СК-5–СК-148* поперечним перерізом сполучних смуг. В акумуляторах типу *СК*, призначених для розряду більшими струмами, ці смуги мають більший поперечний переріз.

Стаціонарні свинцеві акумулятори *C* і *СК* монтують із окремих деталей на місці установки. Технологічний процес монтажу дуже складний, багато видів робіт відносяться до шкідливих для здоров'я людини. Через відсутність верхньої кришки в акумуляторах *C* і *СК* інтенсивно випаровується вода, а наприкінці заряду розприскується і електроліт. Тому під час експлуатації в акумулятори потрібно періодично доливати дистильовану воду, а поверхню посудин і стелажів очищати від осаду електроліту. Для зменшення випару й розбризкування електроліту акумулятори покривають пластинами із шибки. Для цього ж поверхню розчину електроліту в акумуляторах покривають плівкою вазеліну.

Стаціонарні акумулятори типу *C3* випускають у скляних посудинах, щільно закритих ебонітовою кришкою. Через кришку від позитивних і негативних пластин виводять контактні болти. У середині кришки є отвір для заливання електроліту, що закривається ебонітовою пробкою. В акумуляторах *C3* встановлені пластини тієї ж конструкції, що й в акумуляторах *C* і *СК*, тому електричні характеристики цих акумуляторів однакові.

У стаціонарних акумуляторах типу *СН* позитивні й негативні пластини мають намазну конструкцію. Блок відємних пластин опирається на призми, що встановлені на дні скляної або ебонітової посудини. Блок позитивних пластин підвішується на спеціальній колодці. На верхній кришці акумулятора розташовуються контактні болти й заливальний отвір, у який щільно вгвинчується пробка. Пробка має спеціальний фільтр, що пропускає гази, але затримує вихід випарів електроліту. Акумулятори *СН* герметизовані у виводах та зазорах між кришкою й стінками бака. Для цього застосовують спеціальну мастику або використовують контактно-теплове зварювання.

Акумулятори типу *СН* випускають у зібраному виді із зарядженими, або розрядженими пластинами, не залитими розчином електроліту. Пластини намазної конструкції (рис. 1.4, *а*) складаються зі свинцево-сурм'яної решітки 2 із дрібними осередками, у яких розташову-

ється активна речовина 1. Пластини 1 (рис. 1.4, б) ізолювані одна від одної потрійним сепаратором, що складається зі скляної повсті 2, гофрованого перфорованого вініпласту 3 і міпласту 5. Для збільшення терміну служби крайки позитивних пластин і сепараторів в акумуляторах типу *СН* обгортають бічним ізолятором з вініпласту 4.

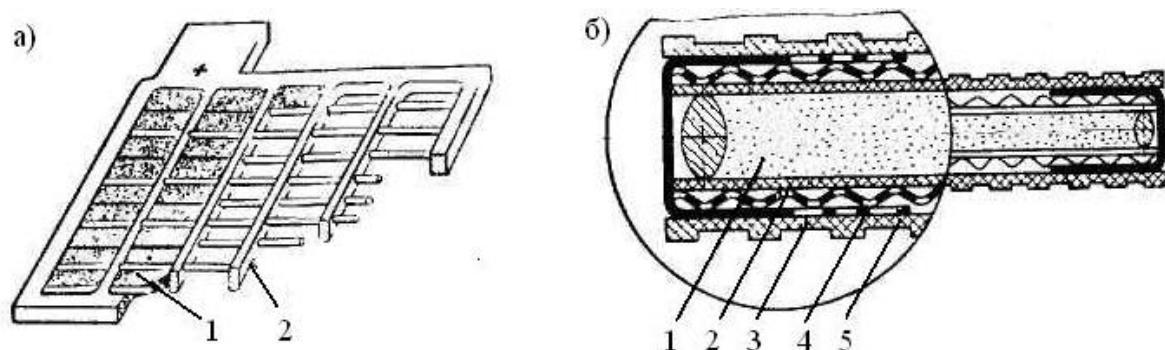


Рис. 1.4. Пластини свинцевих акумуляторів:

- а) пластини намазної конструкції: 1 – активна речовина; 2 – решітка;
 б) 1 – пластини; 2 – сепаратор; 3 – перфорований вініпласт; 4 – бічний ізолятор;
 5 – міпласт

Акумулятори типу *СН* мають індекс від 1 до 20. Для одержання номінальної ємності, що відповідає 10-годинному розряду, необхідно індекс акумулятора помножити на 40. Акумулятори типу *СН* у порівнянні з відкритими акумуляторами типів *С* і *СК* мають наступні переваги: їх збирають не на місці установки, а в заводських умовах; вони мають більший строк служби, мають меншу масу й габаритні розміри, вимагають мінімального догляду під час експлуатації, можуть віддавати більші струми при розряді.

Переносні свинцеві акумулятори й батареї мають закриту конструкцію, порівняно невелику масу й габаритні розміри. Для зменшення маси в цих акумуляторах застосовують пластини намазної конструкції. Промисловість випускає різні типи переносних свинцевих акумуляторів і батарей. Найбільше поширення одержали свинцеві радіоанодні (*РА*), радіонакальні (*РН*), стартерні (*СТ*) батареї.

Для живлення пристроїв залізничного автоблокування та електричної централізації широко використовують автоблокувальні акумулятори (*АБН*). Для управління дизелем резервних електростанцій застосовують стартерні свинцеві батареї.

В системах автоблокування залізниць використовуються акумулятори типів *АБН-72* і *АБН-80*. В умовному позначенні цих

аккумуляторів букви *АВ* характеризують призначення (для автоблокування), *Н* – конструкцію пластин (намазні), число після букв номінальну ємність (при 25-годинному режимі розряду).

Акумулятор типу *АВН-72* (рис. 1.5) перебуває в скляній посудині 3 з ебонітовою кришкою 4, до якої підвішені різнойменні блоки пластин. Блок позитивних пластин 8 складається із трьох, а блок від'ємних пластин 2 – із чотирьох пластин намазної конструкції. Пластини 9 та 12 ізолюють одна від одної потрійним сепаратором, що складається із шару фанери 11, перфорованого й гофрованого вініпласту 10 і скловолокна. Шари сепарації скріплені П-подібним вініпластовим бічним ізолятором 1. Електроліт заливають в акумулятори типу *АВН-72* через отвір, що закривають пробкою 6. Пробка має клапан 7 для виходу газів. У проміжки між стінками посудини й кришкою заливають кислотостійку мастику. Виводи 5 з'єднують із пластинами через полюсні штирі.

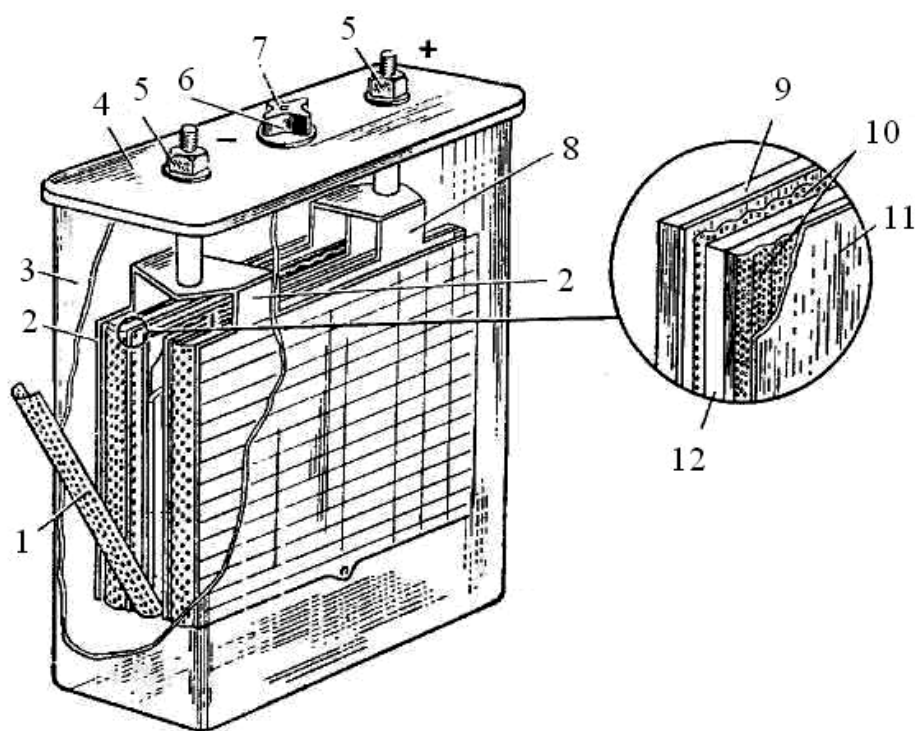


Рис. 1.5. Акумулятор типу *АВН-72*:

- 1 – бічний ізолятор; 2 – блок від'ємних пластин; 3 – скляний посуд;
4 – ебонітова кришка; 5 – штиреві виводи; 6 – пробка; 7 – клапан;
8 – позитивні пластин; 9, 12 – пластини; 10 – вініпласт; 11 – фанера

Акумулятор типу *АБН-80* зібраний у поліетиленовій посудині, а між пластинами встановлений сепаратор з міпласту й міпора.

Електроліт повинен покривати верхній край сепараторів на 20–30 мм в акумуляторах типу *АБН-72* і на 30–40 мм в акумуляторах типу *АБН-80*.

Стартерні свинцеві батареї збирають у моноблоці, виготовленому з ебоніту, феноліту або поліпропілену. Одиночні акумулятори встановлюють у відділення моноблока, а потім з'єднують послідовно свинцевими з'єднувачами. Зверху батарею закривають кришкою, яку з'єднують із моноблоком герметично за допомогою контактнотеплого зварювання. На кришці для кожного акумулятора є заливальний отвір, що закривають пробкою.

В умовній позначці типу стартерних батарей *6СТ-190А* букви й цифри розшифровуються в такий спосіб: цифра 6 указує на число послідовно з'єднаних акумуляторів у батареї; букви *СТ* – позначають призначення батареї (стартерна для автомобілів і автобусів); букви *ТСТ* стартерна для тракторів, дорожніх машин і т. д.; число після риски вказує номінальну ємність батареї при 20-годинному режимі розряду.

1.2.2. Хімічні процеси у кислотних акумуляторах

У зарядженого свинцевого акумулятора активна маса позитивних пластин складається із двоокису свинцю PbO_2 , а від'ємних – з губчатого свинцю Pb . Двоокис свинцю має темно-коричневий колір, а губчатий свинець – світло-сірий. Пластини знаходяться в електроліті – водяний розчин сірчаної кислоти.

Акумуляторна сірчана кислота – важка прозора масляниста рідина, добре розчиняється у воді. H_2SO_4 є дуже небезпечною, бо роз'їдає шкіру, папір, матерію. Вона не має запаху. Для приготування електроліту (використовують три сорти сірчаної кислоти: з державним Знаком якості, 1-го сорту й 2-го сорту. Сірчана кислота 1- та 2-го сортів має знижене число домішок (заліза, окислів азоту, миш'яку, марганцю й ін.) до припустимих меж. Акумуляторна сірчана кислота надходить із заводів у скляних бутлях зі скляними притертими пробками або поліетиленовими чи пластмасовими кришками, що нагвинчуються. Бутлі встановлюють у вербові кошики, поліетиленові або

дерев'яні решітки. Їх повинні переносити два працівника при строгому дотриманні правил техніки безпеки. Дистильована вода відрізняється від водопровідної або річкової майже повною відсутністю домішок (солей, сульфатів, хлоридів та ін.). Таку воду одержують за допомогою спеціальних пристроїв – дистилляторів.

Електроліт виготовляють у чистій кислотостійкій посуді (ебонітовій, керамічній або фаянсовій). Часто використовують дерев'яні баки, які всередині обкладені листовим свинцем. Не можна користуватися скляним посудом, бо при розчиненні сірчаної кислоти виділяється велика кількість тепла й скляна посудина, нагріваючись, може лопнути.

Важливо! У посудину наливають дистильовану воду, а потім тонким струмочком сірчану кислоту, перемішуючи цей розчин паличкою зі скла або ебоніту. Оскільки сірчана кислота важче води, то тепло, що виділяється при розчиненні, рівномірно розподіляється по всьому об'єму електроліту. Забороняється вливати воду в кислоту, бо у цьому випадку струмочок води, стикаючись тільки з поверхневими шарами кислоти, швидко нагрівається й розприскується разом із частками сірчаної кислоти. Ці бризки, потрапляючи на шкіру, можуть викликати серйозні опіки. При приготуванні електроліту необхідно надягати захисні окуляри, гумові рукавички й фартух, сукняний комбінезон і калоші.

Для нейтралізації сірчаної кислоти та електроліту, що потрапили на шкіру або одяг, необхідно завжди мати 5...10 % розчин соди або 5...10 % розчин нашатирного спирту. Якщо сірчана кислота потрапила на шкіру, її варто відразу змочити захисним розчином, кілька разів промити водою.

Щільність електроліту вимірюють ареометром (рис. 1.6, а). Він уявляє собою скляну трубку 4, яка запаяна з обох боків. У нижній частині ареометра є невеличкий вантаж, а у верхній – шкала. Ареометр 3 опускають у мензурку 1 з електролітом 2 й займає вертикальне положення, причому деяка частина його виступає назовні. Глибина занурення ареометра залежить від щільності електроліту. Чим більше щільність електроліту, тим менше поринає ареометр. За поділками шкали, що перебуває на рівні розчину сірчаної кислоти, визначають щільність електроліту. Акумуляторний ареометр (рис. 1.6, б) містить скляну трубку 4, на одному кінці якої знаходиться гумова груша 5, а на іншому трубчастий наконечник 6 з кислотостійкого матеріалу.

За допомогою гумової груші електроліт втягують у скляну трубку ареометра.

Для введення в експлуатацію нових стаціонарних свинцевих акумуляторів використовують електроліт щільністю $1,18 \text{ г/см}^3$ при температурі 25°C . Із підвищенням щільності електроліту від $1,18$ до $1,29 \text{ г/см}^3$ знижується температура його замерзання. Наприклад, електроліт щільністю $1,29 \text{ г/см}^3$ замерзає при температурі -74°C . Тому переносні акумулятори, працюючі при низьких температурах, заливують електролітом підвищеної щільності. Так у центральних районах при температурі взимку до -30°C в стартерні акумулятори заливують електроліт щільністю $1,27 \text{ г/см}^3$.

Акумулятори типів АБН-72 і АБН-80 заливують електролітом щільністю $1,21 \text{ г/см}^3$. Перед заливанням в акумулятори електроліт необхідно охолодити до температури 25°C . Для того щоб зменшити час охолодження, рекомендується поступове приготування електроліту: з кислоти щільністю $1,83 \text{ г/см}^3$ приготувати електроліт щільністю $1,4 \text{ г/см}^3$, а з нього електроліт щільністю $1,18 \dots 1,3 \text{ г/см}^3$.

Розглянемо хімічні процеси при розряді та заряді кислотних акумуляторів. Нехай до зарядженого акумулятора приєднано приймач енергії – опір r (рис. 1.7). Розрядний струм I_p протікає від позитивної пластини через приймач енергії r до від'ємних пластин, а потім через електроліт від від'ємних пластин до позитивних.

Електролітом свинцевих акумуляторів є водний розчин сірчаної кислоти H_2SO_4 . Під дією води H_2O (електролітичної дисоціації) молекули кислоти H_2SO_4 розпадаються на позитивні іони водню 2H^+ та негативні іони SO_4^{2-} . Іони водню 2H^+ переміщуються аналогічно струму розряду I_p , а негативні іони SO_4^{2-} – у протилежний бік.

В результаті розряду у свинцевому акумуляторі відбуваються такі хімічні реакції:

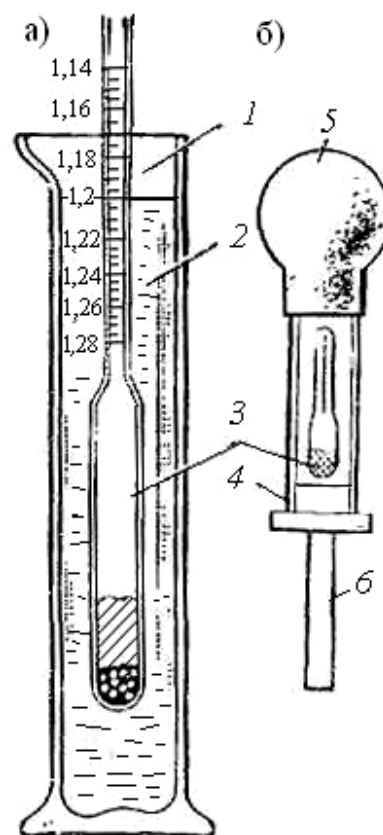


Рис. 1.6. Ареометри

– на позитивному електроді



– на від'ємному електроді

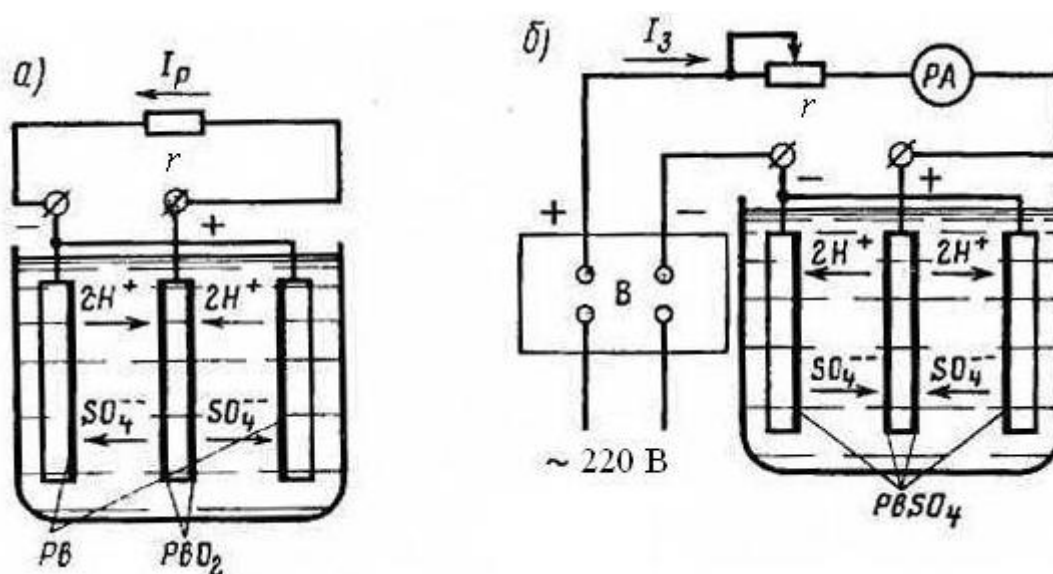


Рис. 1.7. Кисотно-свинцевий акумулятор (а) та схема його заряду (б)

Таким чином, в процесі розряду на позитивному та від'ємному електродах утворюється сірчаноокислий свинець PbSO_4 . Оскільки в реакції розряду приймає участь сірчана кислота, то щільність електроліту зменшується. При глибокому розряді сірчаноокислий свинець PbSO_4 перетворюється у тверду крупнокристалічну сіль, що погано відновлюється під час заряду. Тому акумулятори розряджають тільки до певної щільності електроліту. Для стаціонарних, акумуляторів вона дорівнює $1,17 \dots 1,15 \text{ г/см}^3$.

При розряді активні маси акумулятора поглинають із електроліту сірчану кислоту й перетворюються в сірчаноокислий свинець PbSO_4 . По мірі розряду поверхня пластин покривається сірчаноокислим свинцем, що ускладнює проникання сірчаної кислоти до внутрішніх шарів активних мас. У результаті цього знижується щільність електроліту в порах пластин, електрорушійна сила (ЕРС) і напруга свинцевого

акумулятора (рис. 1.8). Розряд акумулятора звичайно закінчується при напрузі 1,8 В.

При подальшому розряді сірчана кислота майже не проникає до внутрішніх шарів активних мас, і напруга акумулятора швидко падає. Крім цього, глибокі розряди призводять до надмірного сульфатації пластин і пошкодження акумуляторів.

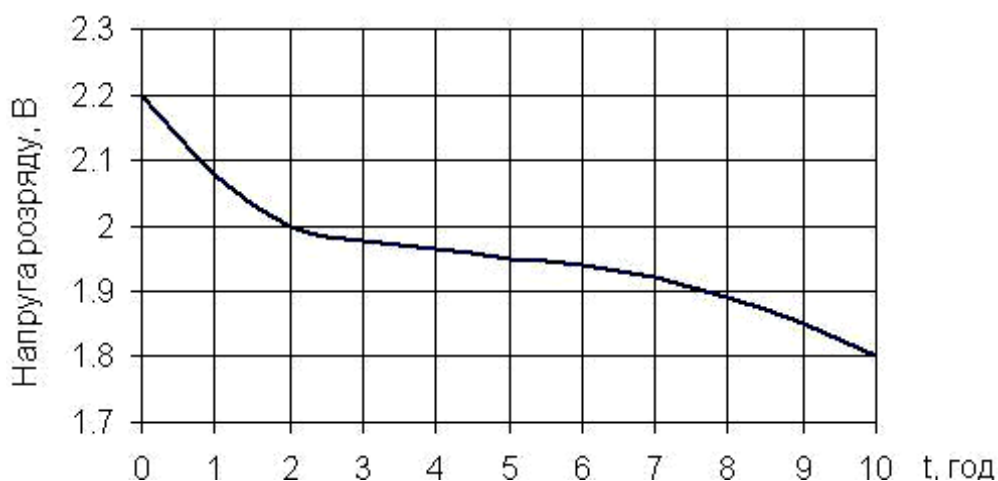


Рис. 1.8. Крива зміни напруги розряду свинцевого акумулятора

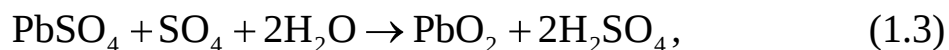
Акумулятори можна розряджати струмами різного значення. Збільшення розрядного струму призводить до більш різкого зниження ЕРС і напруги свинцевого акумулятора, і навпаки, зниження розрядного струму дозволяє одержати від акумулятора більш стабільну напругу практично на протязі всього розряду.

Для заряду через акумулятори пропускають постійний струм, спрямований протилежно розрядному струму. Для цього акумулятор підключають до випрямляча B (див. рис. 1.7, б) або іншого джерела постійного струму. Позитивний вихід випрямляча з'єднують із блоком позитивних пластин, а негативний із блоком негативних пластин.

Зарядний струм I_z спрямований від позитивних пластин до негативної. Тому до позитивних пластин будуть бігти від'ємні іони кислотного залишку SO_4^{2-} , а до від'ємних пластин позитивні іони водню $2H^+$.

Хімічні реакції при заряді можна представити рівнянням:

– на позитивному електроді



– на від’ємному електроді



Під час заряду сірчаноокислий свинець PbSO_4 перетворюється у двоокис свинцю PbO_2 на позитивних пластинах і в губчатий свинець Pb на від’ємних. Одночасно збільшується кількість сірчаної кислоти в розчині, що підвищує щільність електроліту до тих пір, поки весь сульфат свинцю не перетвориться в активні речовини, які були в акумуляторі перед розрядом. Тому щільність електроліту наприкінці заряду дорівнює щільності електроліту на початку розряду. У стаціонарних свинцевих акумуляторів (типу *С*, *СК* та ін.) щільність електроліту наприкінці заряду досягає $1,20 \dots 1,21 \text{ г/см}^3$; у акумуляторів типу *АБН* – $1,18 \dots 1,20 \text{ г/см}^3$ влітку й $1,30 \dots 1,32 \text{ г/см}^3$ взимку. Після відновлення активних мас на пластинах зарядний струм розкладає воду електроліту на водень і кисень, які, змішуючись, утворюють вибухонебезпечну суміш (гримучий газ). Розкладання води електричним струмом можна визначити за інтенсивністю виділення пухирців водню та кисню на поверхні електроліту, тобто за наявністю його «кипіння».

Крива зміни напруги свинцевого акумулятора при його заряді струмом постійного значення дана на рис. 1.9. На першому етапі заряду, коли відновлюються поверхневі шари активних мас, напруга акумулятора збільшується швидко (до $2,12 \text{ В}$), а потім повільніше (до $2,3 \text{ В}$).

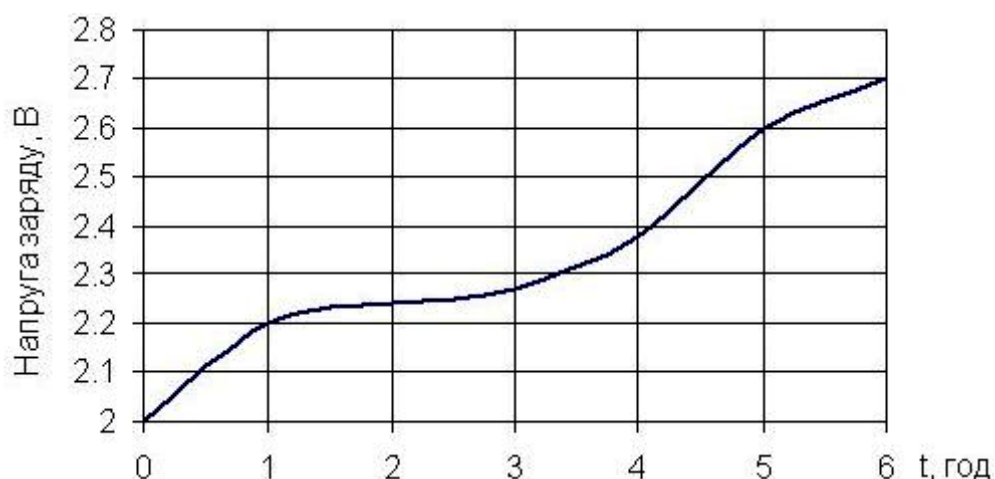


Рис. 1.9. Крива зміни напруги заряду свинцевого акумулятору

На другому етапі заряду, коли відновлюються внутрішні шари активних мас, напруга акумулятора швидко збільшується від 2,3 до 2,7 В, після чого заряд припиняють.

Оскільки внутрішні шари активних мас не стикаються із зовнішнім електролітом, процес відновлення ускладнюється. Тому при напрузі 2,3 В доцільно зменшити зарядний струм. Якщо цього не зробити, то струм, що поступає в акумулятор, буде використовуватися не повністю. Значна частина цього струму буде розкладати воду електроліту на кисень і водень, почнеться газовиділення й пластини почнуть псуватися.

Номінальна напруга стаціонарного свинцевого кислотного акумулятора приймається рівною 2 В. На напругу свинцевого акумулятора впливає температура електроліту. При зниженні температури електроліт в акумуляторі стає більше густим, а його частинки – менш рухливими. Це погіршує дифузію електроліту й викликає більш крутий підйом і спад кривих напруги заряду і розряду.

1.2.3. Електричні характеристики свинцево-кислотних акумуляторів

До основних електричних характеристик свинцевих акумуляторів відносяться електрорушійна сила, напруга, ємність, внутрішній опір, віддача й саморозряд.

Електрорушійна сила свинцевого акумулятора. Активні речовини позитивних і від’ємних пластин свинцевого акумулятора мають певні потенціали щодо електроліту. Більший потенціал має двоокис свинцю PbO_2 , менший – губчатий свинець Pb . У результаті виникає різниця потенціалів між різнойменними полюсами акумулятора. Ця різниця потенціалів при відключеному навантаженні дорівнює ЕРС акумулятора. Потенціали електродів, а виходить, і ЕРС акумулятора не залежать від кількості активних речовин на пластинах. ЕРС свинцевого акумулятора головним чином залежить від щільності його електроліту й визначається за формулою

$$E = 0,85 + d, \quad (1.5)$$

де d – щільність електроліту в порах активної маси пластин, $г/см^3$.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила улаштування електроустановок [Текст] : вид. 3-те, перероб. і доп. – Мінпаливенерго України, 2010. – 736 с.
2. ДСТУ 3465-96. Системи електропостачальні загального призначення. Терміни та визначення [Текст]. – Київ : Держстандарт, 1997. – 18 с.
3. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Текст]. – Издательство стандартов, 1999. – 32 с.
4. Плис, Г. С. Стандартизация в электротехнике [Текст] / Г. С. Плис. – Москва : Стандартиздат, 1979. – 167 с.
5. Сапожников, В. В. Электропитание устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи [Текст] / В. В. Сапожников. – Москва : МАРШРУТ, 2001. – 434 с.
6. Михайлов, А. Ф. Электроснабжение устройств автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта [Текст] / А. Ф. Михайлов, Л. А. Частоедов. – Москва : Транспорт, 1980. – 383 с.
7. Ганеев, Э. А. Модернизированные панели питания ЭЦ для крупных станций [Текст] / Э. А. Ганеев, В. Г. Волосов, М. М. Молдавский, Д. А. Коган / Автоматика, связь, информатика. – 2008. – № 11. – С. 19–22.
8. Зингер, М. Б. Питающие панели будут работать надежнее [Текст] / М. Б. Зингер // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 10. – С. 18–20.
9. Дмитриев, В. Р. Электропитающие устройства железнодорожной автоматики, телемеханики и связи [Текст] : справочник / В. Р. Дмитриев, В. И. Смирнова. – Москва : Транспорт, 1983. – 248 с.
10. Хрусталеv, Д. А. Аккумуляторы [Текст] / Д. А. Хрусталеv. – Москва : Изумруд, 2003. – 224 с.
11. Коровин, Н. В. Химические источники тока [Текст] : справочник / Н. В. Коровин, А. М. Скундин. – Москва : Издательство МЭИ, 2003. – 740 с.
12. Voelcker, J. Lithium Batteries Take to the Road [Электронный ресурс] / J. Voelcker // IEEE Spectrum. – 2007. – Режим доступа : <http://spectrum.ieee.org/transportation/advanced-cars/lithium-batteries-take-to-the-road>

13. Lithium Ion. Technical handbook: Lithium Ion catalog [Электронный ресурс]. Gold Peak Industries (Taiwan) Ltd. – November 2003. Режим доступа : http://web.archive.org/web/20071007175038/http://www.gpbatteries.com/html/pdf/Li-ion_handbook.pdf
14. Andrea, Davide. Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs [Электронный ресурс] / D. Andrea // Artech House. ISBN 1608071049. – 2010. – 234 p. Режим доступа: <http://book.liionbms.com/>
15. Нижниковский, Е. А. Химические источники автономного электропитания радиоэлектронной аппаратуры [Текст] / Е. А. Нижниковский. – Москва : Издательство МЭИ, 2004. – 228 с.
16. Багуц, В. П. Электропитание устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи [Текст] / В. П. Багуц, Н. П. Ковалев, А. М. Костромин. – Москва : Транспорт, 1991. – 286 с.
17. Коган, В. Г. Аппаратура электропитания железнодорожной автоматики. [Текст] / В. Г. Коган, М. М. Молдавский. – Москва: ИКЦ «АКАДДЕМ-КНИГА», 2003. – 434 с.
18. Ганеев, Э. А. Источники питания нового поколения для устройств ЖАТ [Текст] / Э. А. Ганеев, А. Ю. Грайфер, С. П. Сергеев // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 8. – С. 9–10.
19. Электропитание устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи [Текст] / под ред. Вл. В. Сапожникова. – Москва : Маршрут, 2005. – 453 с.
20. Гринберг-Басин, М. М. Тяговые подстанции [Текст] : пособие по дипломному проектированию / М. М. Гринберг-Басин. – Москва : Транспорт, 1986. – 168 с.
21. Почаевец, В. С. Электрические подстанции [Текст] / В. С. Почаевец. – Москва : Желдориздат, 2001. – 512 с.
22. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры [Текст] / под ред. Найвельта Г. С. – Москва : Радио и связь, 1986. – 576 с.
23. Чиженко, И. М. Основы преобразовательной техники [Текст] / И. М. Чиженко, В. С. Руденко, В. И. Сенько. – Москва: Высшая школа, 1974. – 430 с.
24. Попков, О. З. Основы преобразовательной техники [Текст] / О. З. Попков. – Москва : Издательство МЭИ, 2005. – 200 с.
25. Хоровиц, П. Искусство схемотехники [Текст] / П. Хоровиц, У. Хилл. – Москва : Мир, 1998. – 704 с.
26. Проектирование источников электропитания электронной аппаратуры [Текст] : учебник / О. К. Березин, В. Г. Костиков, Е. М. Парфенов и др.; под ред. В.А. Шахнова. – Москва : Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 504 с.
27. Семенов, Б. Ю. Силовая электроника: от простого к сложному [Текст] / Ю. Б. Семенов. – Москва : СОЛОН-Пресс, 2005. – 416 с.
28. Шваб, А. Электромагнитная совместимость [Текст] / А. Шваб. – Москва : Энергоатомиздат, 1995. – 480 с.

29. Бадер, М. П. Электромагнитная совместимость [Текст] / М. П. Бадер. – Москва : УМК МПС, 2002. – 638 с.
30. Электропитание устройств электрической централизации ЭЦ-10-88: Типовые материалы для проектирования [Текст]. – Ленинград : Гипротрансигнализация, 1988.
31. Евсеев, И. Г. Защита устройств связи и СЦБ [Текст] / И. Г. Евсеев. – Москва : Транспорт, 1982. – 176 с.
32. Сергеев, Б. С. Источники электропитания электронной аппаратуры железнодорожного транспорта [Текст] / Б. С. Сергеев, А. Н. Чечулина. – Москва : Транспорт, 1998. – 280 с.
33. Герман, Л. А. Устройства и линии электроснабжения автоблокировки [Текст] / Л. А. Герман, М. И. Векслер, И. А. Шелом. – Москва : Транспорт, 1987. – 192 с.
34. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования [Текст] / под ред. В. И. Круповича, Ю. Г. Барыбина, М. Л. Самовера. – Москва : Энергоиздат, 1981. – 408 с.
35. Петренко, Л. И. Электрические сети. Сборник задач [Текст] / Л. И. Петренко. – Киев : Вища школа, 1985. – 271 с.
36. Векслер, Г. С. Расчет электропитающих устройств [Текст] / Г. С. Векслер. – Київ : Техніка, 1978. – 208 с.
37. Правила технічної експлуатації залізниць України: наказ № 258 від 25.07.2006 [Текст] : Зареєстр. в Мін-ві Юстиції України від 25.10.2006 р. від № 1143/13017 . – Мінпаливенерго України, 2006.
38. ЦШ - 0042: Пристроїв сигналізації, централізації та блокування. Технологія обслуговування[Текст] : Затв. Наказ № 347-ЦЗ від 26.04.2006. – Міністерство транспорту: Київ. – 2006.
39. Інструкція з технічного обслуговування і ремонту пристроїв електропостачання систем сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) ЦЕ-0033 [Текст] : Затверджені Наказом Укрзалізниці від 09 лютого 2012 р. № 048-Ц. На заміну ЦЕ-0002. – Київ, 2012. – 53 с.
40. ЦШ - 0060: Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування [Текст] : Затв. Наказ № 090-ЦЗ від 07.10.2009. – Міністерство транспорту: Київ. – 2009.
41. Ларионов, В. П. Техника высоких напряжений [Текст] / В. П. Лаврионов, В. В. Базуткин, Ю. Г. Сергеев. – Москва : Энергоиздат, 1982. – 296 с.
42. Инновационные технологии молниезащиты [Электронный ресурс] / ОАО «НПО» Стриммер». – 2016. – Режим доступа : <http://www.streamer.ru/>
43. Карташев, И. И. Качество электроэнергии в системах электроснабжения. Способы его контроля и обеспечения [Текст] / И. И. Карташев. – Москва : Издательство МЭИ, 2000. – 120 с.

Наукове видання

**Гаврилюк Володимир Ілліч,
Сиченко Віктор Григорович,
Сердюк Тетяна Миколаївна**

Електроживлення систем залізничної автоматики, телемеханіки та зв'язку

Монографія

У авторській редакції
Комп'ютерна верстка *О. М. Гончаренко*

Формат 60×84 $\frac{1}{16}$. Ум. друк. арк. 11,40. Обл.-вид. арк. 11,46
Тираж 300 пр. Зам. №

Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003 р.

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,
вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010