

Лабораторная работа №5 НИКЕЛЬ-КАДМИЕВЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ

Щелочные никель-кадмиевые (НК) батареи были изобретены еще в 1899 г. В. Юнгнером (Швеция). Их серийное производство началось в 1910 году. Начало производства герметичных НК аккумуляторов относится к 1950 годам.

Никель-кадмиевые аккумуляторы делят на три основные группы: негерметичные с ламельными (ламельные аккумуляторы), спеченными электродами (безламельные аккумуляторы) и герметичные (таблица 1). Наиболее дешевые ламельные НК аккумуляторы характеризуются высоким ресурсом работы, прочностью и не высокой удельной энергией. Они выпускаются призматической формы емкостью 5–1300 А·ч.

Негерметичные аккумуляторы со спеченными электродами работоспособны при низких температурах, но дороже, характеризуются «эффектом памяти» (с. 149). Негерметичные аккумуляторы со спеченными электродами выпускаются призматической формы емкостью 10–100 А·ч. Такие аккумуляторы применяются для питания электровозов, подъемников, стационарного оборудования, средств связи и электронных приборов, для запуска двигателей внутреннего сгорания. НК аккумуляторы со спеченными электродами делятся на тяговые (транспортные), стационарные, стартерные.

Герметичные аккумуляторы характеризуются высокими скоростями разряда, способностью работать при низких температурах, «эффектом памяти». Выпускаются в цилиндрической (до 10 А·ч), дисковой (до 0,5 А·ч) и призматической формах. Герметичные аккумуляторы применяются для питания портативной аппаратуры (сотовых телефонов, магнитофонов, компьютеров), бытовых приборов, игрушек, а также в космической и военной технике.

Таблица 1

Параметры промышленно выпускаемых никель-кадмиевых аккумуляторов

Тип НК аккумулятора	Напряжение, В	Удельная энергия,		Наработка, циклы	Ресурс, годы	Саморазряд в месяц 20°C, %	Рабочие температуры, °C
		Вт·ч/кг	Вт·ч/л				
Негерметичные ламельные	1,25–1,00	20-25	40-60	до 2000	8-25	5	-20...+45
Негерметичные со спеченными		35-40	80-90	2000	3-10	10	-40...+50

электродами							
Герметичные		35-50	80-150	500-800	3-5	15-20	-40...+50

Никель-кадмиевые аккумуляторы выпускаются предприятиями России: ЗАО «Курский завод «Аккумулятор»; ОАО «Кузбассэлемент»; ОАО «Импульс»; ОАО «Завод автономных источников тока»; а также известными западными фирмами: «SAFT» (Франция), «NIFE» (Швеция), «Норреске» (Германия), «SAFT-FERAK» (Чехия). Мировым лидером в производстве НК элементов, способных отдавать большие токи, является фирма «Sanyo» (Япония). Выпускаемые ею аккумуляторы по сравнению с моделями других производителей имеют меньшее внутреннее сопротивление и большую отдачу, медленнее стареют и меньше греются. Аналогичные НК аккумуляторы производят фирмы «Panasonic» и «Varta». Производители непрерывно совершенствуют технологию никель-кадмиевых аккумуляторов, и в современных НК батареях «эффект памяти» почти не возникает. Например, компания «GP Batteries» выпускает никель-кадмиевые аккумуляторы по новой, пенной технологии. В этом случае дозаряд перед разрядом не требуется. Благодаря этому не только исключается «эффект памяти», но и продлевается реальный срок службы никель-кадмиевых устройств [1].

Достоинствами никель-кадмиевых аккумуляторных батарей [5] являются:

- возможность быстрого и простого заряда, даже после длительного хранения, более 1000 зарядно-разрядных циклов;
- хорошая нагрузочная способность и возможность работы при низких температурах;
- длительные сроки хранения при любой степени заряда;
- простота хранения и транспортировки;
- сохранение высокой емкости при низких температурах;
- наибольшая приспособленность для работы в жестких условиях эксплуатации;
- низкая цена.

Никель-кадмиевые аккумуляторные батареи имеют следующие **недостатки** [5]: относительно низкая по сравнению с новыми типами аккумуляторных батарей удельная энергия; присущий этим батареям «эффект памяти» и необходимость проведения периодических работ по его устранению; токсичность применяемых материалов (кадмия); относительно высокий саморазряд (после хранения обязателен цикл заряда).

«Эффект памяти» проявляется, когда аккумулятор подвергают зарядке раньше, чем он реально разрядится. «Эффект памяти» связан с образованием крупных кристаллов на положительных и отрицательных пластинах в случае неполного периодического разряда, что затрудняет их заряд. Часть объема активного вещества перестает использоваться и существенно снижается емкость аккумулятора. Для устранения «эффекта памяти» рекомендуется полная разрядка аккумулятора (до 0,8–1,0 В) с последующим зарядом. Иногда требуется несколько таких циклов.

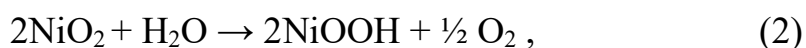
Теория никель-кадмиевых аккумуляторов

Положительный электрод. В качестве положительного электрода в никель-кадмиевом аккумуляторе применяется оксидно-никелевый электрод, в который для повышения электропроводности добавляют графит или никелевые лепестки. С целью увеличения перенапряжения выделения O_2 при заряде и глубины заряда в электролит вводят $LiOH$, который также способствует сохранению мелкозернистой структуры активной массы положительного электрода. Вводимые активирующие добавки бария и кобальта повышают емкость и ресурс катода.

Протекающую по *твердофазному механизму* реакцию на положительном электроде можно представить в виде:



Свежезаряженные оксидно-никелевые электроды, содержащие некоторое количество NiO_2 , постепенно выделяют кислород (саморазряжаются):

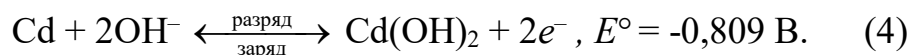


Отрицательный электрод. В качестве активной массы кадмиевого ламельного электрода используют смесь оксида кадмия CdO и оксида железа Fe_2O_3 в соотношении кадмия к железу 2,7:1 или 1:1 в зависимости от условий работы аккумулятора. Зарубежные фирмы используют только чистый оксид кадмия без добавок железа. В качестве активирующих добавок в активную массу кадмиевого электрода вводят гидроксид никеля (II) до 5 масс.%, диоксид титана – до 10 масс.%, диоксид марганца и оксид сурьмы – до 4 масс.%. Для стабилизации емкости кадмиевого электрода во время циклирования в активную массу вводят 5–9% солярового масла. Добавка диоксида марганца MnO_2 изменяет условия кристаллизации фазового оксида, облегчает растворе-

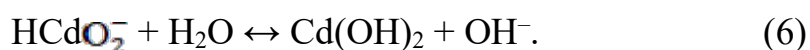
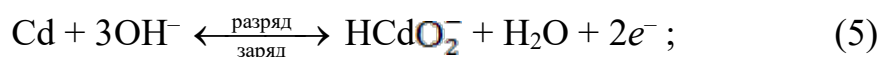
ние первичного адсорбционного оксида с поверхности и замедляет образование пассивирующих оксидов.

Для кадмиевого электрода предложено два механизма электродной реакции:

а) *твёрдофазный*:



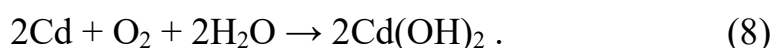
б) *жидкофазный*:



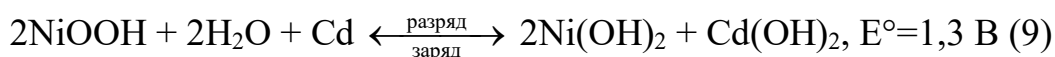
В негерметичном Ni-Cd аккумуляторе в конце заряда после 80% переданной емкости возможно выделение водорода по реакции:



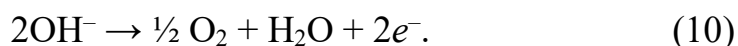
Стационарный потенциал кадмиевого электрода в щелочном растворе на 15–20 мВ положительнее равновесного потенциала водородного электрода в той же среде. Следовательно, кадмиевый электрод не способен к самопроизвольному растворению в щелочной среде с выделением водорода. Практически наблюдаемый саморазряд кадмиевого электрода щелочного аккумулятора вызван его окислением кислородом:



Суммарная реакция при циклировании никель-кадмиевого аккумулятора может быть записана в следующем виде:



Герметичные НК аккумуляторы не требуют ухода. В них при избыточном заряде (перезаряде) реализуется так называемый **замкнутый кислородный цикл**. После полного окисления Ni(OH)₂ избыточный заряд расходуется на окисление гидроксид-ионов по реакции:



Выделяющийся на положительном электроде кислород проникает через сепаратор на отрицательный и восстанавливается на нем:



Суммарно никаких химических изменений в электролите не происходит, вся энергия превращается в тепло. По этой причине в конце заряда герметичный аккумулятор нагревается. Если ток заряда меньше критического значения, герметичные НК аккумуляторы допускают неограниченный перезаряд.

Для герметичных аккумуляторов важно правильно выбрать количество электролита, так как для поглощения кислорода, выделяющегося при заряде по реакции (10), часть порового пространства сепаратора и отрицательного электрода должна быть свободна. В различных типах аккумуляторов оптимальное количество электролита колеблется от 2 до 4 см³/(А·ч).

В герметичных аккумуляторах емкость отрицательного электрода должна быть больше, чем емкость положительного. Экспериментально определяемое соотношение емкостей должно быть не менее 1,2. Такое соотношение позволяет избежать выделения водорода на отрицательном электроде при его заряде.

Электролит. В никель-кадмиевых аккумуляторах в качестве электролита применяется 20–40% раствор гидроксида калия с добавкой Li-OH (15–50 г/дм³), хорошо работающий в широком диапазоне температуры (как при отрицательной, так и при высокой положительной температуре).

Щелочь не участвует в суммарной токообразующей реакции, поэтому контроль плотности электролита не требуется.

В процессе эксплуатации негерметичных щелочных аккумуляторов в электролите накапливается карбонат калия, который проникает в поры электродов и отрицательно сказывается на сроке службы аккумулятора. Источниками появления карбонатов служит графит, присутствующий в активной массе положительного электрода, и углекислый газ из воздуха.

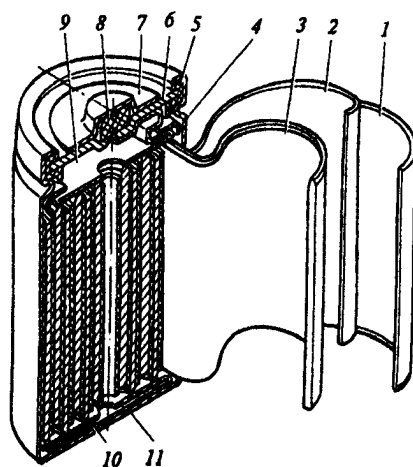
Конструкция НК аккумуляторов

Герметичные НК аккумуляторы выпускаются трех видов: цилиндрические, призматические, таблеточные или дисковые.

Аккумуляторы цилиндрической формы имеют следующие преимущества: простота производства и хорошие механические характеристики. В процессе заряда давление внутри элемента никель-кадмиевой аккумуляторной батареи может достигать 1379 кПа. Аккумуляторы имеют систему вентиляции, которая срабатывает, если давление газов внутри элемента возрастает до 10,5–14 кгс/м². Выпускаемые в настоящее время цилиндрические элементы имеют собствен-

ный механизм внутренней вентиляции для отвода газов, выделяющихся при заряде или разряде. Цилиндрические НК аккумуляторы характеризуются недостаточным использованием объема корпуса. При сборке батарей в корпусе остаются полости, заполненные воздухом. Для устранения свободных полостей корпуса таких батарей часто имеют сложную внутреннюю форму.

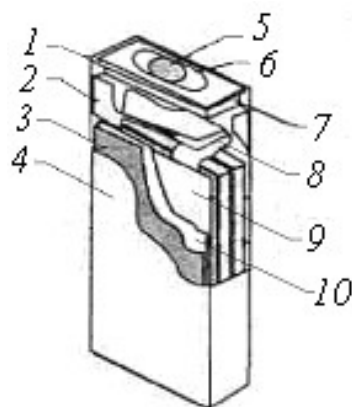
На рис. 1 показано внутреннее устройство герметичного цилиндрического никель-кадмиевой аккумулятора. Отрицательные (1) и положительные (3) пластины скручены вместе и помещены в металлический цилиндр. Их разделяет сепаратор (2), увлажненный электролитом.



1 – отрицательный электрод; 2 – сепаратор; 3 – положительный электрод; 4 – изоляционный колпачок; 5 – уплотнительная прокладка; 6 – крышка аккумулятора; 7 – крышка клапана; 8 – предохранительный клапан; 9 – мостик положительный; 10 – мостик отрицательный; 11 – корпус аккумулятора.

Рис.1. Устройство герметичного НК аккумулятора с рулонными электродами

Аккумуляторы призматической формы (рис. 2). Положительные (9) и отрицательные (3) электроды размещены поочередно, а между ними расположен сепаратор (10). Блок электродов вставлен в металлический или пластмассовый корпус и закрыт герметизирующей крышкой, на которой как правило, устанавливается клапан (6) или датчик давления.



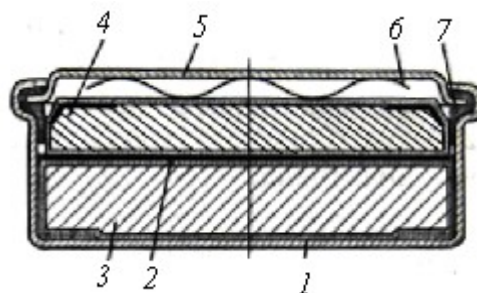
1 – изоляционная прокладка; 2 – изолятор; 3 – отрицательная пластина; 4 – корпус, соединенный с минусом; 5 – плюсовой вывод; 6 – самоуплотняющийся вентиляционный клапан; 7 – уплотнитель; 8 – плюсовой токосъемник; 9 – положительная пластина; 10 – сепаратор.

Рис.2. Устройство никель-кадмиевого призматического аккумулятора

Аккумуляторы таблеточной формы. Таблеточные элементы были разработаны в целях миниатюризации аккумуляторных батарей и удобства их сборки из таких элементов. Стоимость их производства невысока. Основной недостаток – раздувание при быстром заряде из-за отсутствия системы отвода газов. По этой причине время заряда таблеточных аккумуляторов составляет 10–16 часов.

В таблеточных аккумуляторах в основном используют ламельные электроды, которые располагаются параллельно крышке.

На рисунке 3 приведена схема таблеточного буртикового никель-кадмиевого аккумулятора [1].



1 – корпус; 2 – сепаратор; 3 – положительный электрод; 4 – отрицательный электрод; 5 – крышка; 6 – пружина; 7 – уплотнитель;

Рис. 3. Схема герметичного таблеточного двухэлектродного никель-кадмиевого аккумулятора

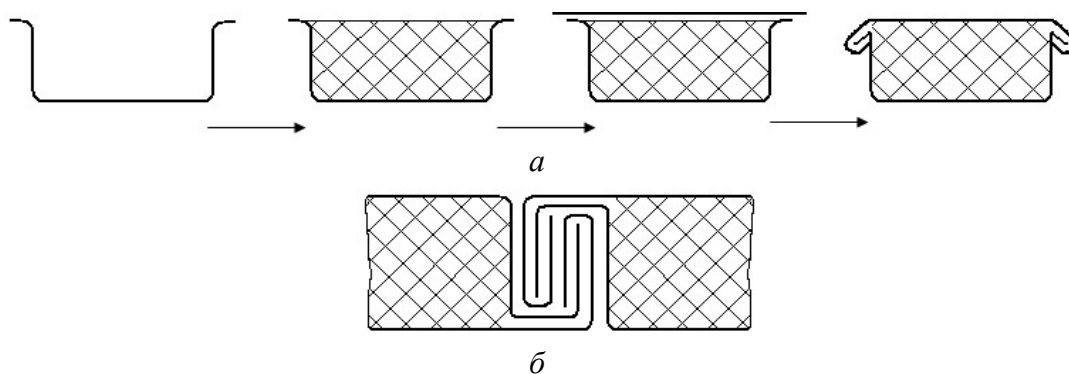
Сепараторы. В негерметичных никель-кадмиевых аккумуляторах для дистанционного разделения электродов применяют эбонитовые

продольные палочки, резиновые шнуры, полимерные сепараторы в виде продольных жилок и т.п., а также микропористые щелочестойкие сепараторы на основе поливинилхлорида, полиэтилена и пропиленового волокна в виде войлочных пластин.

В герметичных аккумуляторах в качестве сепараторов используются ткани и нетканые материалы (войлоки, фетры) из поливинилхлорида, полипропилена, полиамида, капрона. Могут быть использованы комбинации нескольких слоев сепараторов из различных материалов.

Конструкция электродов. Электроды по технологии изготовления подразделяются на ламельные и безламельные.

Устройство ламели показано на рисунке 4. Ламели (*a*) изготовлены из стальной перфорированной ленты толщиной 0,1 мм. Ламели для положительных электродов несколько толще, чем для отрицательных. Лента, используемая для изготовления положительных электродов, предварительно никелируется. Заполненные ламели собирают в виде пластин. В месте соприкосновения они соединяются друг с другом в замок (*б*), после чего пластины прессуют. При этом поверхность ламели гофрируется, что улучшает контакт массы с металлической оболочкой, и на ней продавливаются вертикальные канавки для эбонитовых палочек, помещаемых между электродами в качестве сепараторов. Жесткость пластине придают ребра, надетые с торцов и подвергнутые прессованию.



a – схема формирования ламели; *б* – соединение двух ламелей «в замок»

Рис. 4. Плоский ламель щелочного аккумулятора

Безламельные кадмиевые электроды выполняются в различных конструктивно-технологических вариантах. *Металлокерамические* (спеченные) электроды производятся в две технологические стадии: на токоотводящую никелевую основу (решетку, сетку, никелированную ламельную ленту) наносится порошок или паста из карбонильного ни-

келя, которая затем спекается при температуре 800–900°C в водородной среде, образуя при этом пористую никелевую основу. На второй стадии полученные основы пропитываются в растворе хлорида кадмия до необходимого содержания активной массы.

Другая довольно распространенная группа безламельных кадмиевых электродов относится к типу *пластифицированных*. Активная масса в виде оксида кадмия смешивается с пластификаторами (поливиниловым спиртом, карбоксиметилцеллюлозой или другими термопластичными наполнителями), позволяющими связать между собой частицы оксида кадмия, затем проводятся напрессовка, намазка или прокатка на токоведущую основу и термообработка электрода. В активную массу электрода добавляют порообразователи и расширители в различных сочетаниях по отношению к оксиду кадмия. Одним из расширителей для активной массы является соляровое масло.

В цилиндрических аккумуляторах применяются спеченные положительные электроды, в паре с которыми могут использоваться как спеченные, так и намазанные или вальцованные отрицательные электроды. В дисковых аккумуляторах в основном используются ламельные электроды, хотя могут применяться прессованные и спеченные электроды. В качестве материала ламели используется никелевая сетка.

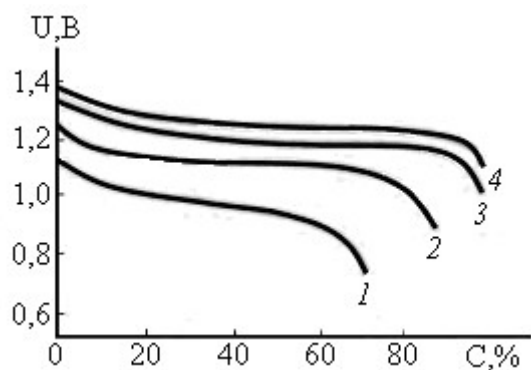
Условное обозначение никель-кадмиевых аккумуляторов приведено в Приложении (с. 217).

Характеристики НК аккумуляторов

Электрические характеристики определяются назначением и режимами заряда и разряда батарей определенного типа. Наиболее высокие удельные характеристики имеют цилиндрические рулонные конструкции аккумуляторов, наиболее низкие – дисковые конструкции.

Никель-кадмиевый аккумулятор непосредственно после заряда имеет ЭДС, равную 1,45 В. При разряде свежезаряженного аккумулятора его напряжение вначале быстро снижается до 1,32–1,35 В, а затем изменяется медленно. В первый период в реакции токообразования участвует NiO₂, присутствующий в небольшом количестве на поверхности частиц активного вещества.

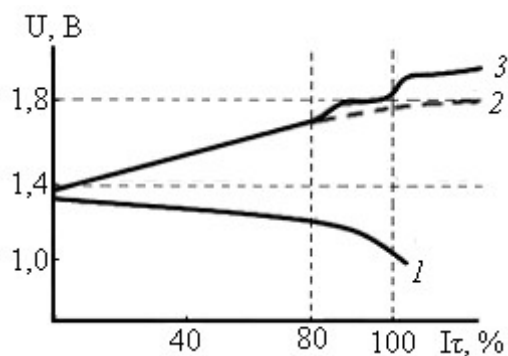
Разрядные характеристики НК аккумуляторов при различных токах разряда представлены на рисунке 5.



1 – 1C; 2 – 0,5C; 3 – 0,2C; 4 – 0,1C

Рис. 5. Разрядные характеристики НК аккумуляторов при различных токах разряда при температуре окружающей среды 20 °С.

На рисунке 6 показаны зарядная и разрядная характеристики НК герметичного и негерметичного аккумуляторов, из которых видно, что при заряде негерметичного аккумулятора водород выделяется спустя 80% емкости, а в герметичном – процесса выделения водорода не происходит.



1 – разрядная кривая; 2 – зарядная кривая герметичного аккумулятора;
3 – зарядная кривая негерметичного аккумулятора

Рис. 6. Зарядные и разрядная характеристики НК герметичного и негерметичного аккумуляторов

На рисунке 7 показаны разрядные характеристики НК аккумуляторов при различной температуре окружающей среды при токе разряда 0,2C.

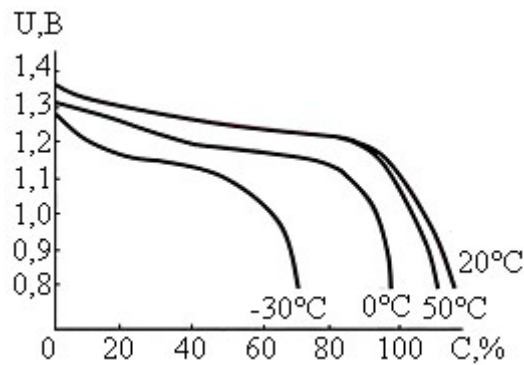


Рис. 7. Разрядные характеристики НК аккумуляторов при различной температуре окружающей среды при токе разряда 0,2С

Никель-кадмиевые батареи отличаются от свинцовых более низким саморазрядом. Вместе с тем, степень саморазряда никель-кадмиевых батарей существенно зависит от температуры окружающей среды.

Срок службы НК аккумуляторов зависит от режима эксплуатации. Если батарея работает в режиме циклирования, то срок службы зависит от глубины разряда при циклировании. Чем меньше глубина разряда, тем больше циклов заряда/разряда выдерживает батарея.

Различие в сроке службы аккумуляторов объясняется поведением положительного электрода при циклировании. Срок службы металлокерамического электрода ограничен коррозией никелевой металлокерамической основы, которая теряет прочность в процессе циклирования и перестает удерживать в порах активную массу уже на 700–800 циклах. Емкость ламельного электрода ограничена несколькими факторами: вымыванием активной массы из ламелей в процессе заряда из-за газовыделения; деградацией зерен гидроксида никеля в процессе циклирования и карбонизацией токопроводящей добавки графита, которая приводит к повышению внутреннего сопротивления положительного электрода, а следовательно, к уменьшению степени заряжаемости электрода. Средний срок службы ламельного электрода составляет 1000–1200 циклов.

НК аккумуляторы в режиме постоянного подзаряда могут оставаться работоспособными 10–30 лет. Следует учесть, что при каждом повышении температуры на 10°C сверх нормальной температуры эксплуатации (25°C) срок службы НК батареи снижается на 20%.

Заряд. Эффективность заряда НК батареи зависит от степени заряда и от температуры. Как правило, при степени заряда до 80% эффективность заряда остается высокой, а затем заметно снижается. Поэтому циклирование никель-кадмиевой батареи более эффективно и по энергии, и по сроку службы при глубине заряда до 80%. При этом снижается (или в ряде случаев исключается) газовыделение, а, следовательно, и расход

воды в электролите. Срок службы батареи при этом существенно увеличивается.

Способы заряда герметичных аккумуляторов. Заряд герметичных аккумуляторов обычно производится при постоянном токе, при этом сообщается количество электричества, составляющее 105–110% номинальной емкости. Нормированный ток заряда обычно составляет $(0,1-0,3)C_{\text{ном}}$. Для герметичных аккумуляторов кроме контроля времени заряда также применяется контроль конечного напряжения заряда, внутреннего давления (при помощи сигнализаторов давления), и полученной емкости (при помощи электронных счетчиков ампер-часов). В некоторых случаях применяются датчики максимального напряжения, срабатывание которых зависит от температуры и (или) тока заряда. Зарядные устройства могут снабжаться термореле, которые выдают сигнал на отключение заряда при повышении температуры до заданного значения.

Для герметичных аккумуляторов следует избегать условий, при которых напряжение заряда достигает значения 1,6 В, так как это способствует выделению водорода. Цилиндрические аккумуляторы допускают заряд при коротком режиме номинированным током $0,4C_{\text{ном}}$ в течение 3 ч, при этом разрядная емкость снижается на 10%.

При заряде аккумуляторов от источника с постоянным напряжением (около 1,6 В и ниже) может возникнуть явление, получившее название «тепловой разгон» (1.5, с. 45).

Утилизация и регенерация НК аккумуляторов

Содержащийся в НК аккумуляторах кадмий по токсичности сопоставим с ртутью, поэтому отработанные аккумуляторы следует собирать и перерабатывать, а стоимость переработки сразу включать в цену аккумуляторов. Во многих странах запрещено использовать НК аккумуляторы, которые не включены в общую программу утилизации.

С целью продления срока службы НК аккумуляторов и батарей разрабатываются способы их восстановления. Для отработанных НК аккумуляторов предлагаются методы восстановления активных масс и способы регенерации щелочного электролита.

Восстановление активных масс электродов НК аккумулятора.

Активную массу положительных электродов подвергают термообработке при 600–650°C в течении 60–90 мин, полученный спёк измельчают и просеивают с выделением фракций размером 500–100 мкм и 100–40 мкм. Последнюю фракцию смешивают с дистиллированной водой, наносят на токоотвод и обсыпают частицами фракции 500–100

мкм, уплотняют, сушат и пропитывают раствором абиединовой кислоты. Активную массу отрицательных электродов подвергают термообработке при 800–850°C 60–90 мин, затем в полученную фракцию с размером частиц 100–40 мкм добавляют аналогичную фракцию активной массы положительных электродов, смешивают с водой, наносят на токоотвод, обсыпают слоем фракции отрицательной активной массы с размером частиц 500–100 мкм, уплотняют, сушат и формируют. Положительные пластины формируют совместно с отформированными отрицательными электродами [17].

Разработан способ восстановления щелочного аккумулятора, который осуществляется путем очистки пластин разобранного аккумулятора в водном растворе 45–50%-ой соляной кислоты в течение 50–60 с. Собранную батарею заряжают током, равным 1/2–1/6С в течение 15–20 мин [18].

Одним из способов восстановления НК аккумуляторной батареи может быть предварительный разряд батареи аккумуляторов до 0–0,5 В с последующим зарядом ее до максимального значения, предусмотренного техническими характеристиками. Предварительно батарею подвергают обработке переменным током, а в случае наличия в батарее короткозамкнутых элементов осуществляют процесс многократного ударного воздействия при помощи конденсатора емкостью от 1000 мкФ, заряженного до напряжения 25–60 В [19].

Регенерация щелочного электролита. Наибольшее применение имеет химический способ регенерации щелочного электролита с использованием оксида кальция. Электролит сначала разбавляют дистиллированной водой до плотности 1,05–1,1 г/см³, проводят декарбонизацию оксидом кальция с последующим осветлением раствора, а затем концентрируют упариванием до плотности 1,21–1,25 г/см³. Недостатком химического способа является длительность процесса и высокие энергозатраты.

В России разработана экологически чистая, экономически эффективная технология регенерации аккумуляторного электролита. Этот способ регенерации включает последовательные стадии механической фильтрации, разбавления электролита дистиллированной водой, декарбонизации и концентрирования очищенного электролита. Исходный электролит разбавляют до концентрации 30–50 г/л, стадию декарбонизации разбавленного электролита осуществляют путём пропускания его через анионит АВ-17 в ОН⁻-форме, регенерацию которого проводят чистым аккумуляторным электролитом плотностью 1,21–1,25 г/см³ с последующей переработкой регенерата [20].

На рисунке 8 представлена технологическая схема регенерации щелочного электролита.

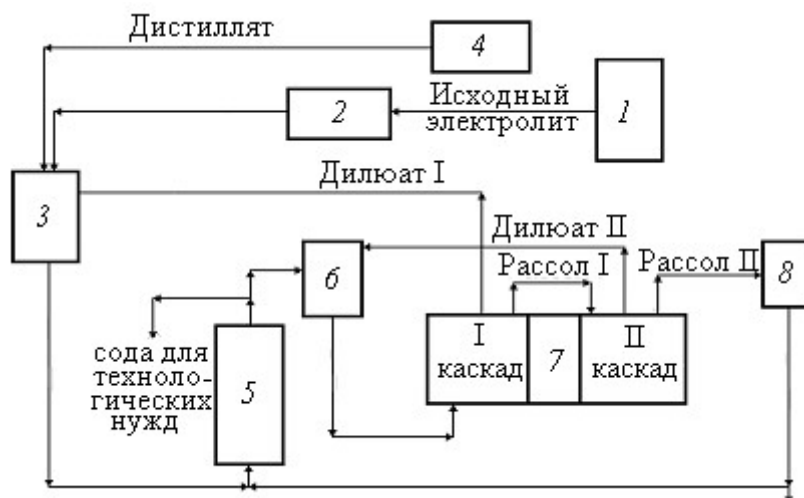


Рис. 8. Технологическая схема регенерации щелочного электролита

Исходный отработанный электролит из бака 1 через блок механической фильтрации 2 поступает в бак 3, где разбавляется в 6–10 раз дистиллятом, поступающим из блока электрохимической деминерализации воды 4. Из бака 3 разбавленный электролит (30–50 г/л) подается на установку регенерации 5, заполненную анионитом АВ-17 в ОН⁻ форме. Карбонат-ионы CO_3^{2-} при указанной концентрации вытесняют из смолы ионы OH^- , раствор очищается от карбонатов и поступает в бак очищенного разбавленного электролита 6. Из бака 6 электролит поступает в двухступенчатый электрохимический концентратор 7, состоящий из двух электродиализаторов. Концентратор состоит из двух ступеней, так как необходимо получить максимальную концентрацию КОН в рассоле, при минимальной концентрации КОН в дилуате. Это зависит от соотношения скоростей прокачки электролита через камеры обессоливания и концентрирования. Для первой ступени концентрирования оптимальное соотношение потоков дилуата и рассола ($Q_{\text{обесс}}/Q_{\text{расс}}$) составляет (4–5):1. При этом получается рассол I с концентрацией КОН 120–150 г/л, который подается на вторую ступень концентрирования, и дилуат I с концентрацией КОН 8–10 г/л. Эта концентрация очень мала, поэтому дилуат I возвращается в бак 3 для разбавления исходного электролита. Для второй ступени концентрирования оптимальное соотношение потоков дилуата и рассола ($Q_{\text{обесс}}/Q_{\text{расс}}$) составляет (2–2,5):1. При этом получается рассол II с концентрацией КОН 220–240 г/л, поступающий в бак очищенного кон-

центрированного электролита 8, и дилуат II с концентрацией КОН 50–70 г/л. Эта концентрация близка к исходному разбавленному электролиту, поэтому дилуат II возвращается в бак 6. Регенерированный электролит в баке 8 добавлением чистого КОН доводится до плотности 1,21–1,25 г/см³ и заливается в аккумуляторы.

Предлагаемый способ регенерации щелочного аккумуляторного электролита является безреагентным, в нём используется только дистиллированная вода и не образуется токсичных отходов.

Утилизация аккумуляторов. Отработавшие свой ресурс никель-кадмиевые аккумуляторы могут быть утилизированы. В России централизованно переработку электродов щелочных аккумуляторов ведут АООТ «Электронщик» во Владикавказе и Режский никелевый завод (г. Реж Свердловской обл.).

Положительные пластины продаются как никелевый лом для переработки в ферроникель. Отрицательные пластины могут быть переработаны несколькими способами. При *химическом способе* электроды сначала обрабатывают серной кислотой, а затем растворенный кадмий извлекается в виде гидроксида кадмия. При *электрохимической переработке* пластины обрабатываются в серной кислоте, затем после отделения никеля кадмий электролизом осаждается на катоде в виде металла. При *термическом процессе* отрицательные пластины моются, сушатся и загружаются вместе с коксом в электрическую печь, в которой кадмий при 900°C восстанавливается до металла. Кадмий возгоняется, затем конденсируется и по каплям падает в воду, где образуются маленькие металлические шарики. Небольшие герметичные аккумуляторы также перерабатываются в такой печи. Пластмассовые детали подвергаются пиролизу при 400°C.

Варианты заданий к лабораторной работе

Вариант 1. Определите электрические характеристики (НРЦ, U , $R_{\text{внутр}}$) герметичного никель-кадмиевого аккумулятора. Определите внутренне сопротивление аккумулятора по вольтамперной кривой и методом подачи импульса постоянного тока. Изучите зарядную характеристику НК аккумулятора, используя *ускоренный* заряд током 0,3С в течение 2–4 ч. Ограничивайте зарядное напряжение значением 1,6 В.

Вариант 2. Изучите влияние токовой нагрузки на разрядные кривые НК аккумулятора. Разряд осуществляйте током 0,25С и 0,5С до конечного напряжения 1,0 В, или током 2С до напряжения 0,5 В. Снимите зарядную кривую, используя ступенчатый заряд токами

$0,3C_{\text{НОМ}}$; $0,2C_{\text{НОМ}}$ и $0,1C_{\text{НОМ}}$ в течение 1–1,5 ч. Ограничивайте зарядное напряжение значением 1,6 В.