

Введение

Основу химических источников тока составляют два [электрода](#) (отрицательно заряженный [анод](#), содержащий [восстановитель](#), и положительно заряженный [катод](#), содержащий [окислитель](#)), контактирующие с [электролитом](#). Между электродами устанавливается разность потенциалов — [электродвижущая сила](#), соответствующая свободной энергии [окислительно-восстановительной реакции](#). Действие химических источников тока основано на протекании при замкнутой внешней цепи пространственно-разделённых процессов: на отрицательном аноде восстановитель окисляется, образующиеся свободные электроны переходят по внешней цепи к положительному катоду, создавая разрядный ток, где они участвуют в реакции восстановления окислителя. Таким образом, поток отрицательно заряженных электронов по внешней цепи идет от анода к катоду, то есть от отрицательного электрода (отрицательного полюса химического источника тока) к положительному. Это соответствует протеканию электрического тока в направлении от положительного полюса к отрицательному, так как направление тока совпадает с направлением движения положительных зарядов в проводнике.

В современных химических источниках тока используются:

- в качестве восстановителя (материал анода) — [свинец](#) Pb, [кадмий](#) Cd, [цинк](#) Zn и другие металлы;
- в качестве окислителя (материал катода) — [оксид свинца\(IV\)](#) PbO₂, [гидроксооксидникеля](#) NiOOH, [оксид марганца\(IV\)](#) MnO₂ и другие;
- в качестве электролита — растворы [щелочей](#), [кислот](#) или [солей](#)^[2].

Классификация

По возможности или невозможности повторного использования химические источники тока делятся на:

- гальванические элементы (первичные ХИТ), которые из-за необратимости протекающих в них реакций невозможно перезарядить;
- электрические аккумуляторы (вторичные ХИТ) — перезаряжаемые гальванические элементы, которые с помощью внешнего источника тока (зарядного устройства) можно перезарядить;
- топливные элементы (электрохимические генераторы) — устройства, подобные гальваническому элементу, но отличающиеся от него тем, что вещества для электрохимической реакции подаются в него извне, а продукты реакций удаляются из него, что позволяет ему функционировать непрерывно.

Следует заметить, что деление элементов на гальванические и аккумуляторы до некоторой степени условное, так как некоторые гальванические элементы, например щелочные батарейки, поддаются подзарядке, но эффективность этого процесса крайне низка.

По типу используемого электролита химические источники тока делятся на *кислотные* (например свинцово-кислотный аккумулятор, свинцово-плавиковый элемент), *щелочные* (например ртутно-цинковый элемент, ртутно-кадмиевый элемент, никель-цинковый аккумулятор, никель-кадмиевый аккумулятор) и *солевые* (например, марганцево-магниевый элемент, цинк-хлорный аккумулятор).

Никель-Кадмиевые аккумуляторы

Щелочные никель-кадмиевые аккумуляторы (Ni-Cd) были изобретены еще в 1899 г. Вальдмаром Юнгнером. Однако материалы для производства таких аккумуляторов стоили дороже материалов для производства аккумуляторов других типов, и поэтому в то время широкого использования они не нашли. Только в 1932 г. была разработана технология нанесения активного материала пластин путем осаждения на губчатый (пористый) покрытый никелем электрод. А в 1947 г. стали известны работы над созданием герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов, в которых была осуществлена возможность рекомбинации газов, выделявшихся в процессе заряда, без их отвода. Конечным результатом этих разработок и стало появление герметичных никель-кадмиевых аккумуляторных батарей, используемых и в настоящее время.

Ni-Cd аккумуляторы любят быстрый заряд, медленный разряд до состояния полного разряда и подзарядку импульсами тока, в то время как батареи других типов предпочитают частичный разряд и умеренные токи нагрузки. Это тип аккумуляторов, которые способны работать в самых жестких условиях. Для никель-кадмиевых аккумуляторов крайне необходим полный периодический разряд: если его не делать, на пластинах элементов формируются крупные кристаллы, значительно снижающие их емкость (так называемый "эффект памяти").

Преимущества Ni-Cd аккумуляторных батарей:

- возможность быстрого и простого заряда, даже после длительного хранения аккумулятора;
- большое количество циклов заряд/разряд: при правильной эксплуатации - более 1000 циклов;
- хорошая нагрузочная способность и возможность эксплуатации при низких температурах;
- продолжительные сроки хранения при любой степени заряда;
- сохранение стандартной емкости при низких температурах;
- наибольшая приспособленность для использования в жестких условиях эксплуатации;
- низкая стоимость;

Недостатки Ni-Cd аккумуляторных батарей:

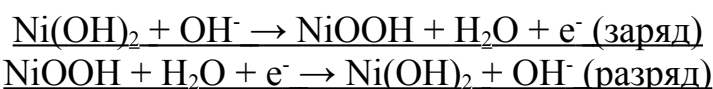
- относительно низкая по сравнению с другими типами аккумуляторных батарей энергетическая плотность;
- присущий этим аккумуляторам эффект памяти и необходимость проведения периодических работ по его устранению;
- токсичность применяемых материалов, что отрицательно сказывается на экологии, и некоторые страны ограничивают использование аккумуляторов этого типа;
- относительно высокий саморазряд - после хранения необходим цикл заряда.

Никель-металлгидридные аккумуляторы в последние десятилетия существенно потеснили никель-кадмиевые во многих областях техники. Особенно широко они применяются в автономных источниках питания портативной аппаратуры, где увеличение их удельных характеристик в 1,5-2 раза по сравнению с никель-кадмиевыми привело к улучшению потребительских свойств этой аппаратуры.

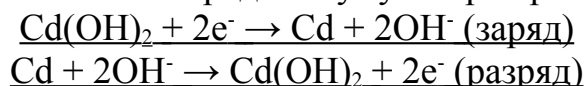
Ni-Cd и Ni-MH источники тока, однако, имеют много общего, так как именно положительный оксидно-никелевый электрод определяет как разрядную емкость аккумулятора, так и в существенной степени его свойства.

Основные электрохимические процессы Ni-Cd аккумулятора

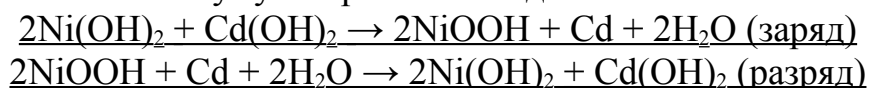
Основной процесс, происходящий на положительном оксидно-никелевом электроде в цикле заряда-разряда аккумуляторов, описывается следующим образом:



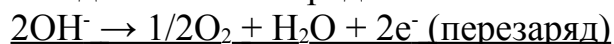
На отрицательном кадмиевом электроде аккумулятора проходит реакция:



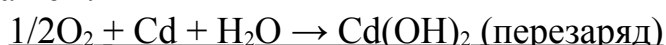
Общая реакция в Ni-Cd аккумуляторе имеет вид:



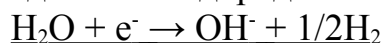
При перезаряде никель-кадмиевых аккумуляторов на положительном электроде идет побочный процесс выделения кислорода:



Кислород сквозь пористый сепаратор достигает отрицательного электрода и восстанавливается на нем:



Последняя реакция воплощает в жизнь замкнутый кислородный цикл и обеспечивает стабилизацию давления в герметичном никель-кадмиевом аккумуляторе при его перезаряде. Нужно отметить, что давление в аккумуляторе определяется не только скоростями протекания указанных реакций, но, главным образом, скоростью доставки кислорода от положительного электрода к отрицательному. Так же, при перезаряде отрицательного кадмиевого электрода может иметь место реакция выделения водорода:



который окисляется на оксидно-никелевом электроде в соответствии с реакцией:



Реакция образования водорода опасна для герметичного аккумулятора, так как она может привести к накоплению водорода из-за низкой скорости реакции его поглощения. Для того чтобы в стандартной ситуации, условий для протекания реакции выделения водорода не возникало, в герметичном аккумуляторе емкость отрицательного электрода объемно заметно превосходит емкость положительного. Поэтому емкость герметичного никель-кадмиевого аккумулятора определяется емкостью его положительного оксидно-никелевого электрода.

Механизмы электродных реакций Ni-Cd аккумулятора

Положительный электрод:

Исходный гидроксид никеля может существовать в двух формах: α - и β -Ni(OH)₂, отличающихся степенью гидратации и плотностью. В разряженном электроде могут присутствовать обе формы Ni(OH)₂. При заряде β -Ni(OH)₂ переходит в β -NiOOH (при небольших изменениях кристаллической решетки вещества). На последней стадии заряда может образовываться γ -NiOOH. Соотношение β - и γ -фаз NiOOH зависит от условий заряда. γ -Фаза образуется при больших скоростях заряда и/или при существенных перезарядах. Ее образование приводит к коренной перестройке структуры оксидов. Плотность β -NiOOH равна 4,15 г/см³, плотность γ -NiOOH - 3,85 г/см³, поэтому при существенном перезаряде при образовании оксидов высшей валентности объем активной массы оксидно-никелевого электрода изменяется.

Электрохимическое поведение двух форм гидроксида никеля также различное. Заряд γ -NiOOH протекает с меньшей эффективностью, а коэффициент использования по току ниже, чем у β -NiOOH. Разрядный потенциал γ -NiOOH ниже на 50 мВ. Но при хранении его саморазряд в 2 раза медленнее.

Для обеспечения большего ресурса следует вести заряд с небольшим перезарядом до образования β -NiOOH, который обеспечивает малые объемные изменения электрода в цикле заряда-разряда.

Отрицательный электрод

В новых герметичных никель-кадмиевых аккумуляторах емкость кадмиевого электрода обычно выше емкости оксидно-никелевого электрода на 20-70%. Поэтому потенциал кадмиевого электрода в цикле заряда-разряда аккумулятора может считаться неизменным.

Электрические характеристики никель-кадмиевого аккумулятора

Тепловыделение в герметичном Ni-Cd аккумуляторе зависит от уровня его заряженности. После сообщения 70% емкости начинается выделение кислорода и разогрев аккумулятора, обусловленный ионизацией кислорода на отрицательном электроде. К концу заряда в стандартном режиме температура аккумулятора может возрасти на 10-15 °С. При быстром заряде разогрев больше (до 40-45 °С).

Саморазряд герметичных Ni-Cd аккумуляторов определяется в первую очередь термодинамической неустойчивостью положительного оксидно-никелевого электрода. Влияние на саморазряд микроутечек между разнополярными электродами сравнительно мало в начале эксплуатации, но возрастает с наработкой.

При отключении аккумулятора с заряда, высокий потенциал поверхности заряженного оксидно-никелевого электрода постепенно снижается. Уровни заряженности поверхностных и глубинных слоев электрода выравниваются. В результате со временем скорость саморазряда понижается. Из-за различий в рецептуре и технологии скорость саморазряда и уровень стабилизации остаточной емкости у аккумуляторов разных серий даже одного производителя могут существенно различаться.

Процесс саморазряда ведет не только к утрате емкости, но и к общему снижению напряжения (на 30-50 мВ). Это связано как с постепенным

выравниванием уровня заряженности поверхностных и глубинных слоев электродов, так и с частичной пассивацией их активных масс.

Хранение аккумуляторов при более низкой температуре понижает потери: обычно саморазряд при 0 °С в 2 раза меньше, чем при 20 °С.

Обычно, при потребности постоянно поддерживать максимальный уровень заряженности аккумуляторов после стандартного заряда их переключают в режим подзаряда малым током, который должен компенсировать саморазряд при хранении. Токи подзаряда (порядка 0,03-0,05 С) оговариваются производителем.

Аккумуляторы разной конструкции обладают различной способностью к продолжительному перезаряду. Понятно, что дисковые аккумуляторы с толстыми ламельными электродами менее всего способны выдержать перезаряд. Среди цилиндрических аккумуляторов есть такие серии, аккумуляторы которых способны переносить перезаряд током 0,1С в течение многих месяцев.

Эксплуатационные характеристики Ni-Cd аккумуляторов

Режимы разряда

Разрядные характеристики аккумуляторов при разных плотностях тока определяются особенностями аккумуляторов, влияющими на величину их внутреннего сопротивления. К таким особенностям принадлежат прежде всего толщина электродов и их структурные характеристики, плотность сборки пакета электродов, толщина и структура сепаратора, количество электролита и отдельные параметры конструкции аккумулятора.

Для дисковых аккумуляторов с толстыми прессованными электродами, предназначенных для работы при продолжительном режиме разряда, характерна разрядная кривая с изменением напряжения с постоянно малой скоростью до напряжения 1,1В. Разрядная емкость, снимаемая при дальнейшем разряде до 1В, составляет 5-10 % Сн.

У этих аккумуляторов отмечается заметное снижение среднего разрядного напряжения и отдаваемой емкости с увеличением плотности тока до 0,2С. Это определяется невозможностью равномерного быстрого разряда активной массы по всей толщине электрода.

Снижение толщины электродов (при увеличении их числа с 2 до 4) позволило для дисковых аккумуляторов, предназначенных для использования при среднем режиме разряда, увеличить границу токов разряда до 0,6 С.

Короткоразрядные аккумуляторы с металлокерамическими электродами благодаря малому внутреннему сопротивлению обладают более высокими энергетическими показателями. При номинальных токах разряда разрядная кривая аккумуляторов имеет меньший градиент спада напряжения. Обычно, напряжение аккумуляторов выше 1,2В сохраняется вплоть до исчерпания 0,9 Сн. При разряде от 1,1 до 1,0В снимается не более 3% Сн. Такие аккумуляторы могут быть использованы при разряде токами до 3-5 С.

Современные цилиндрические Ni-Cd аккумуляторы с рулонными электродами допускают еще более высокие разрядные токи: для некоторых типов аккумуляторов максимальный долговременный ток составляет 7-10С.. Емкость, которая может быть получена от аккумулятора при 20 °С, наибольшая. Она почти не уменьшается и при разряде при более высокой температуре. Но при

температуре ниже 0 °С разрядная емкость уменьшается, и тем больше, чем больше разрядный ток.

Снижение емкости при низкой температуре связано со снижением разрядного напряжения аккумулятора из-за существенного роста как омического, так и поляризационного сопротивления. Рост сопротивления определяется малым количеством электролита в герметичном аккумуляторе. Именно поэтому так существенно сказываются на характеристиках аккумулятора концентрация и состав электролита, которые определяют температуру образования в электролите той или иной твердой фазы: льда, кристаллогидратов, солей и др. Замерзание электролита вообще исключает вероятность разряда. Поэтому нижняя температурная граница работоспособности герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов редко бывает ниже -20 °С. Но при коррекции состава и концентрации электролита в отдельных типах аккумуляторов при -40 °С удается получить - 0,5Сн при токе разряда 0,2С и 0,2Сн при токе 1С.

Работоспособность аккумуляторов в режиме постоянного подзаряда

В режиме непрерывного подзаряда герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов обычно обеспечивают ток порядка 0,03-0,05 Сн. Срок эксплуатации при таком режиме зависит как от тока подзаряда, так и от температуры окружающей среды. При повышенной температуре выделение кислорода увеличивается, и это приводит к ускорению деградационных реакций в аккумуляторе.

Для работы в режиме непрерывного подзаряда при температуре в помещении до +50-55 °С многие компании разработали особые серии цилиндрических аккумуляторов с рулонным пакетом электродов, которые имеют гарантированный срок службы не менее 4 лет. В этих аккумуляторах скорректирован состав электролита и предприняты меры к ускорению процесса газопоглощения.

При первом разряде после продолжительного подзаряда емкость аккумулятора как правило несколько ниже, чем у свежезаряженных аккумуляторов, но после нескольких циклов она быстро восстанавливается до прежнего уровня

Изменения в никель-кадмиевом аккумуляторе в процессе эксплуатации

Работоспособность герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов при эксплуатации определяется главным образом постепенными изменениями, которые происходят в аккумуляторах при циклировании и приводят к неминусемому уменьшению разрядной емкости и напряжения.

Анализ данных об отказах герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов показывает, что при их эксплуатации накапливаются эффекты, связанные со следующими факторами:

- - потерей активных масс и перераспределением их на электродах;
- - понижением рабочей поверхности электродов;
- - протеканием процессов, связанных с необратимым потреблением кислорода и воды, а также распадом органических веществ (различных добавок);
- - изменением количества и состава электролита и его перераспределением внутри аккумулятора;

- - появлением утечек по проводникам 1-го рода в результате роста дендритов металлического кадмия.

Изменения в оксидно-никелевом электроде

В результате циклического изменения плотности активных масс оксидно-никелевого электрода при длительном циклировании аккумуляторов имеет место набухание положительного электрода и снижается его механическая прочность. Ухудшение контакта между основой оксидно-никелевого электрода и активной массой приводит к уменьшению электрической проводимости электрода и снижению емкости аккумулятора.

Снижение механической прочности оксидно-никелевого электрода происходит в большей степени при регулярных перезарядках, что связано с эффектами от процесса выделения кислорода в поровом пространстве оксидно-никелевого электрода. При этом в спеченных металлокерамических электродах эти изменения существенно меньше, чем в электродах прессованных.

При циклировании аккумулятора отмечается также укрупнение кристаллической структуры активных масс оксидно-никелевого электрода, что влечет за собой уменьшение рабочей поверхности электрода и снижение емкости аккумулятора.

Изменения в кадмиевом электроде

Главным процессом на отрицательном кадмиевом электроде, определяющим его деградацию, является процесс миграции активной массы, которая после длительного циклирования обнаруживается и в сепараторе, и на поверхности положительного электрода. Результатом этого является не только некоторая потеря активных масс, но и блокировка пор в поверхностных слоях кадмиевого электрода, которая препятствует доступу электролита в глубь его и приводит к увеличению внутреннего сопротивления аккумулятора. Миграция активных масс и прораствание дендритных мостиков от отрицательного электрода через сепаратор вплоть до поверхности оксидно-никелевого электрода приводит к микро-коротким замыканиям разнополярных электродов. В итоге саморазряд аккумуляторов увеличивается.

В кадмиевом электроде, как и в оксидно-никелевом электроде, при циклировании аккумулятора имеют место рост крупных кристаллов и некоторое набухание активных масс.

Необратимые окислительно-восстановительные процессы

В герметичном Ni-Cd аккумуляторе могут протекать также и другие необратимые процессы, ограничивающие срок службы аккумулятора. Один из этих процессов связан с высоким окислительным потенциалом оксидно-никелевого электрода, с возможностью окисления на нем органических примесей, активирующих и стабилизирующих добавок, находящихся в аккумуляторе. Кроме того, металлокерамическая основа оксидно-никелевого электрода способна при циклировании медленно окисляться с потреблением воды и образованием гидроксида никеля $\text{Ni}(\text{OH})_2$.

Повышение давления в герметичном аккумуляторе

При понижении емкости отрицательного электрода изменяется соотношение емкостей положительных и отрицательных электродов. В результате при перезаряде увеличивается риск начала процесса выделения водорода. Водород при низкой скорости его рекомбинации может накапливаться в аккумуляторе от цикла к циклу и создать угрозу быстрого увеличения давления (в особенности при быстрых зарядах). У аккумуляторов дисковых и призматических при постоянно повышенном давлении деформация корпуса (еще до нарушения герметичности аккумулятора) приводит к снижению плотности сборки аккумуляторов, увеличению сопротивления аккумуляторов и уменьшению разрядного напряжения.

Водород накапливается в аккумуляторе также и при регулярных переразрядах ниже 0 В. Следует учитывать также, что в аккумуляторе присутствует и азот, который попадает в него при герметизации. Парциальное давление азота в процессе циклирования немного возрастает за счет восстановления примесей нитратов, содержащихся в электролите.

Герметичные щелочные аккумуляторы оснащены аварийным клапаном для сброса излишнего давления газа. Но их эксплуатация не предусматривает неоднократного вскрытия клапана, так как это приводит к необратимой потере баланса состава химического элемента.

Изменения состава и количества электролита

При эксплуатации аккумуляторов из-за набухания электродов и изменения их пористой структуры происходит отсасывание электролита из сепаратора. Поэтому с наработкой внутреннее сопротивление аккумулятора увеличивается.

Изменяется и состав электролита. Количество карбонатов с наработкой может значительно возрасти по сравнению с изначальным состоянием.

Электропроводность электролита при этом уменьшается, и характеристики аккумуляторов при разряде короткими режимами ухудшаются при всех температурах, но особенно заметно при низких.

Железо-никелевый аккумулятор

Это вторичный химический источник тока, в котором [железо](#) — [анод](#), [электролитом](#) является водный [раствор гидроксида натрия](#) или [калия](#) (с добавками [гидроксида лития](#)), [катод](#) — [гидрат окиси никеля\(III\)](#).

Активный материал содержится в никелированных стальных трубках или перфорированных карманах. С точки зрения стоимости и удельной энергоемкости, они близки к [литий-ионным аккумуляторам](#), а с точки зрения саморазряда, эффективности и напряжения — к [NiMH аккумуляторам](#). Это достаточно выносливые аккумуляторы, стойкие к грубому обращению (перезаряд, глубокий разряд, короткое замыкание и термические удары) и имеющие очень длинный срок службы.

Их использование стало снижаться с момента остановки производства из-за пожара на заводе/лаборатории [Эдисона](#) в [1914 году](#)^[1], по причине плохих показателей работы батарей при низких температурах, плохого удержания заряда (как у NiMH аккумуляторов) и высокой стоимости производства, сравнимой с лучшими герметизированными [свинцово-кислотными аккумуляторами](#) и до 1/2 стоимости NiMH аккумуляторов. Однако в связи с ростом стоимости свинца^[2] в последние годы, цена свинцовых аккумуляторов значительно поднялась, и цены практически сравнялись.^[3]

При сравнении аккумуляторов со свинцово-кислотными следует помнить, что допустимый эксплуатационный разряд свинцово-кислотного аккумулятора значительно меньше, чем теоретическая полная ёмкость, а железоникелевого — очень близок к ней. Поэтому реальная эксплуатационная ёмкость железоникелевого аккумулятора, при равной теоретической полной ёмкости, может быть в несколько раз (в зависимости от режима) больше, чем у свинцово-кислотного.

Железо-никелевые аккумуляторы конструктивно и по своим электрическим данным незначительно отличаются от кадмиево-ни-келевых. Но благодаря применению недорогих материалов они значительно дешевле аккумуляторов типа КН. Основной их недостаток - невозможность использования при высоких температурах. Так, при повышении температуры до 40 С заряженный ЖН аккумулятор теряет в течение 15 суток почти всю свою емкость.

Сильная сторона

Железо-никелевые аккумуляторы вследствие высокой прочности пластин и корпуса не боятся толчков и сотрясений, и их электролит не выделяет при заряде вред-нодействующих паров. Они удовлетворительно работают при температурах от - 20 до 40 С, способны выносить короткие замыкания и перегрузки, не требуют тщательного ухода при эксплуатации, не подвержены явлениям сульфатации, и срок их службы больше, чем у свинцовых.

Слабая сторона

Железо-никелевые аккумуляторы при отрицательных температурах очень быстро теряют емкость; так, например, аккумуляторы ТЖН-950 имеют при - 20 С 40 % номинальной емкости. Это не означает, что железо-никелевые аккумуляторы не могут быть использованы при более низких наружных температурах. Омическое сопротивление в элементах этого типа настолько велико, что потери энергии внутри аккумулятора при его работе достаточны, чтобы поддерживать температуру электролита выше критической. Поэтому аккумуляторы машин наземного транспорта могут работать в условиях отрицательных температур, однако для этого необходимо улучшить тепловую изоляцию батарей.

Отечественное производство ,детали:

Железо-никелевые аккумуляторы, выпускаемые отечественной промышленностью, имеют обозначение ЖН, кадмиево-никелевые - КН. Оба электрода в этих аккумуляторах изготавливают в виде стальных никелированных решеток, в ячейки которых впрессованы наполненные активной массой коробочки (ламели) из никелированной жести с большим количеством мелких отверстий для доступа электролита к активной массе. Каждая отрицательная пластина расположена между двумя положительными; для предотвращения короткого замыкания между ними устанавливают сепараторы, выполненные в виде эбонитовых стержней. Сосуд, в котором помещают пластины и электролит, также изготавливается из никелированной жести и имеет приваренную крышку с отверстиями для выводных токопроводящих штырей и для выхода газов и наливания электролита. Для придания сосуду механической прочности стенки его выполняют гофрированными

Долговечность

Способность этих аккумуляторов выносить частые циклы разряд/заряд связана с низкой растворимостью реагентов в электролите. Длительное формирование металлического железа в процессе зарядки обусловлено низкой растворимостью Fe_3O_4 . Длительный процесс образования кристаллов железа сохраняет электроды, но также лимитирует скорость работы: данные аккумуляторы заряжаются медленно и так же медленно разряжаются.

Основные факторы ограничивающие долговечность железо-никелевых аккумуляторов — выгорание графита токопроводящей добавки из-за выделения кислорода при разложении воды, коррозия никелированных железных корпусов и ламелей с последующим высыпанием активных масс в шлам, осаждение железа на сепараторах и увеличение саморазряда. Железо-никелевые элементы производства заводов Эдисона в начале 19xx годов имели трубчатую конструкцию положительного окисно-никелевого электрода с токопроводящей добавкой никелевых лепестков вместо графита и улучшенную технологию никелирования железных конструкционных материалов (запекание многослойного никелевого покрытия, полученного из водного раствора никелевой соли, в печах с водородной защитной атмосферой). При этом назначенный срок службы составлял 100 лет и рекомендованный интервал замены электролита — один раз в 5..10 лет. В более

дешевых конструкциях железо-никелевых аккумуляторов со сроком службы в начальные десятки лет из-за выгорания графитной токопроводящей добавки в процессе эксплуатации элемента быстрее загрязняется электролит карбонатами и уменьшаются интервалы между заменами электролита (рекомендованный интервал замены электролита в исполнениях никелевых аккумуляторов с графитом — от 100 циклов или 1 раз в год). Также после выгорания существенного количества графита ухудшается отдаваемая емкость и увеличивается эквивалентное внутреннее сопротивление элемента из-за ухудшения контакта активной массы с электродами. Окончательное разрушение аккумулятора и полный выход из строя происходят при сквозной коррозии конструктивных элементов (ламель и/или стального корпуса) из-за ограниченного качества никелирования дешевых вариантов исполнения аккумулятора.

Никель-железные аккумуляторы долгое время использовались в европейской горной промышленности благодаря их способности выносить вибрацию, высокие температуры и другие стрессовые воздействия. Повторно к ним возрос интерес в [солнечных](#) и [ветрогенераторах](#), современном электротранспорте.

Параметры

- Запасённая энергия/масса: 20-50 Вт·ч/кг
- Запасённая энергия/объем: 350 Вт·ч/[л](#)
- Мощность/масса: 100Вт/кг
- Эффективность: 65%
- Стоимость: **1,5 — 6,6 Вт·ч /**
- Саморазряд: 20% — 40 %в месяц
- Срок службы: 30 — 50 лет
- Количество рабочих циклов: Многократный глубокий разряд на срок службы заметно не влияет.
- Напряжение: **1,2 В**
- Рабочий диапазон температур: от –40 до +46 °С

Заключение

Аккумуляторы, особенно никель-кадмиевые все еще достаточно широко используются в народном хозяйстве. Эти батареи востребованы, несмотря на то, что их производство и применение ограничивается из соображений охраны окружающей среды (кадмий является ядовитым веществом). Но полностью отказаться от них не получается, поскольку эти аккумуляторные батареи используют в устройствах, где другие батареи работать не могут. В частности это эксплуатация с разрядными и зарядными токами большой величины. Это достаточно простые в обслуживании устройства с длительным сроком эксплуатации. Поэтому они заслуживают подробного рассмотрения их характеристик и возможностей, что в свою очередь представлено в этой работе.