



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 536.2

СОВРЕМЕННЫЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ НАКОПИТЕЛИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

¹Шинкарев В.В., Юлусов К.С., Полуэктов Е.К., Манихин А.П.

ФГБОУ ВО "ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ", Оренбург, Россия
(460018, город Оренбург, проспект Победы, д.13), e-mail: ¹maildlyvsego56@mail.ru

В современной энергетике аккумулирование энергии является одной из важных и перспективных задач. Важность данной темы обуславливается широким внедрением возобновляемых источников энергии в энергетическую страну. Одним из важных вопросов является уменьшение потерь на саморазряд аккумулятора и увеличение ёмкости в электрохимических аккумуляторах. Развитие электромобилей также означает необходимость в модернизации и увеличении ёмкости аккумуляторов, чтобы максимальная дальность электрокара была больше. В данной статье описаны современные системы аккумулирования и накопления энергии. Также представлены перспективные системы накопления энергии.

Ключевые слова: Электрохимические системы аккумулирования энергии, накопители энергии, аккумуляторы, аккумулирование энергии.

MODERN ELECTROCHEMICAL POWER STORAGE DEVICES

¹Shinkarev V.V., Yulusov K.S., Poluektov E.K., Manikhin A.P.

ORENBURG STATE UNIVERSITY, Orenburg, Russia (460018, Orenburg, prospekt Pobedy, 13), e-mail: ¹maildlyvsego56@mail.ru

In modern energy, energy storage is one of the important and promising tasks. The importance of this topic is due to the widespread introduction of renewable energy sources into the country's energy sector. One of the important issues is to reduce battery self-discharge losses and increase the capacity in electrochemical batteries. The development of electric vehicles also means the need to modernize and increase the capacity of batteries so that the maximum range of an electric car is greater. This article describes modern energy storage and storage systems. Promising energy storage systems are also presented.

Keywords: Electrochemical energy storage systems, energy storage, accumulators, energy storage.

В 21 веке мировое потребление электроэнергии возрастает в несколько раз в течение каждого десятилетия. Это связано с увеличением численности населения, с развитием и внедрением новых технологий в повседневный быт людей, что и приводит к увеличению потребляемой энергии. Рост потребляемой мощности сопровождается и ростом генерируемой мощности, поэтому происходит строительство новых электростанций на невозобновляемых источниках энергии, расширение альтернативной энергетики, а также строительство новых атомных электростанций или электрических станций на возобновляемых источниках энергии: солнечная энергия, энергия ветра, энергия потока воды, волн (реки, моря, океаны), энергия тепла Земли (геотермальная энергия), энергия на биогазе, водородная энергетика.

С генерацией электроэнергии человечество не испытывает проблем, однако актуальным является вопрос об аккумулировании электроэнергии, как тепловой, так и электрической энергии. На сегодняшний день ведётся активная работа в области модернизации различных накопителей энергии, а также разработка новых типов аккумуляторов и накопителей, которые могут отличаться от прежних химическим составом, конструктивными особенностями и другими свойствами.

Накопители энергии можно разделить по виду энергии, с помощью которого происходит аккумулирование энергии:

- Механические (ГАЭС, аккумулирование энергии с помощью сжатого воздуха, маховые накопители);
- Химические (электрохимические аккумуляторные батареи, топливные элементы);
- Электрические (Конденсаторы, суперконденсаторы, сверхпроводниковые магнитные аккумуляторы)

В данной статье проанализированы существующие виды электрохимических аккумуляторов, которые применяются в различных сферах жизни людей. Рассмотрим также концептуальные разработки новых типов накопителей энергии, которые направлены в сторону накопления энергии в промышленных масштабах.

Современные электрохимические накопители электроэнергии обладают относительно небольшой ёмкостью электрической батареи, которая не может быть использована для резервного электроснабжения в промышленных масштабах. На сегодняшний день электрохимические аккумуляторы используются в огромном количестве в различных видах автомобильной техники, в смартфонах и других типах гаджетов, которые люди эксплуатируют ежедневно. В связи с развитием электромобилей имеется потребность в создании больших по ёмкости системы аккумуляторов для электромобилей, которые имеют запас хода до 500-600 км без подзарядки. Сейчас нормальной величиной ёмкости электромобиля считается батарея с ёмкостью около 60 кВт/ч. У премиальных моделей электрокаров ёмкость может достигать до 100 кВт/ч. [1]

Виды электрохимических аккумуляторов

Рассмотрим наиболее распространенные виды электрохимических аккумуляторов.

1. Свинцово-кислотные аккумуляторы

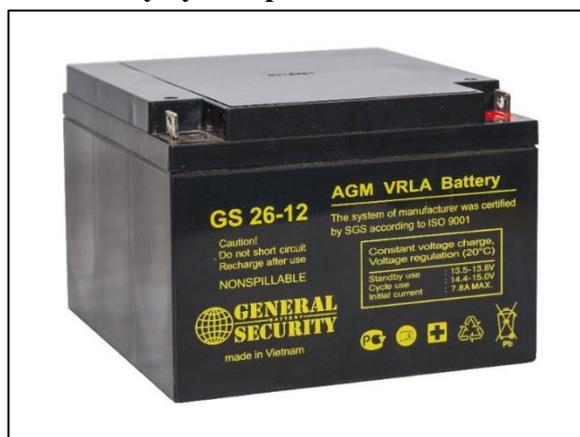


Рисунок 1 – Свинцово-кислотный аккумулятор

Свинцово-кислотные аккумуляторы занимают самую большую долю рынка электрохимических накопителей, являясь наиболее распространенным видом аккумулирования электроэнергии. Несмотря на свои низкие удельные характеристики (удельная энергия до 40 Вт*ч/кг), свинцово-кислотные аккумуляторы обладают самой низкой стоимостью киловатт-часа запасаемой электроэнергии и поэтому широко используются в различных видах автотранспорта в качестве АКБ стартовых генераторов.

Принцип работы основан на том, что заряженный отрицательный электрод из свинца (Pb) и положительный электрод из сульфата свинца (Pb(SO₄)₂) погружают в электролитический раствор, который содержит разбавленную серную кислоту. В процессе разряда электроны выталкиваются из ячейки, так как на отрицательном электроде образуется сульфат свинца, а электролит восстанавливается до воды.

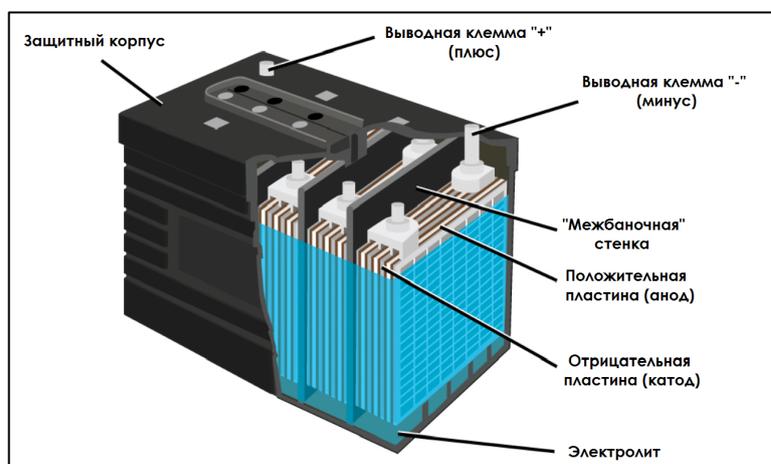


Рисунок 2 – Внутреннее устройство свинцово-кислотного аккумулятора

Технология свинцово-кислотных аккумуляторов получила широкое развитие за счёт простоты и надёжности конструкции, а также низкой себестоимости. Недостатками данного типа аккумуляторов являются низкая плотность энергии, а также быстрая разрядка при отрицательных температурах, что приводит к малому сроку службы.

Данный тип аккумуляторов применяется во многих сферах жизни людей: в авто- и мототехнике, в авиации, на флоте, на железнодорожном транспорте. Кроме того, они применяются для систем бесперебойного питания, могут использоваться как аварийные или резервные источники питания. Этот вид аккумуляторов вполне подойдет для обеспечения автономной работы в случае отключения энергии как в жилом доме, так и на котельных крышного типа в многоквартирных жилых домах [3].

2. Никель-кадмиевая аккумуляторная батарея



Рисунок 3 – Внешний вид никель-кадмиевой аккумуляторной батареи

Никель-кадмиевые аккумуляторы имеют более высокую удельную энергоёмкость, в сравнении со свинцово-кислотными аккумуляторами до 65 Вт*ч/кг. Их достоинством является надёжность работы при отрицательных температурах. Срок службы таких АКБ составит 8-10 лет!

В никель-кадмиевых аккумуляторах в качестве катода используются гидроксид оксида никеля NiOH с графитовым порошком. Анодом является гидроксид кадмия CdOH или металлический кадмий в виде порошка. Кадмий является токсичным элементом и был запрещен Европейским союзом в 2004 году для большинства видов использования. На смену никель-кадмиевым аккумуляторам пришли никель-металлогидридные.

Сфера применения: электромобили, трамваи и троллейбусы, морские и речные суда. В повседневности используются в шуруповёртах, гайковертах и дрелях, однако все чаще заменяются наиболее энергоэффективными литий-ионными аккумуляторами.

3. Никель-металлогидридная батарея



Рисунок 4 – Внешний вид никель-металлогидридной аккумуляторной батареи

Никель-металлогидридный накопитель состоит из: анода, который является водородным металлогидридным электродом (обычно гидрид никель лантана LaNi_5 или никель лития Ni-Li). Электролитом может быть: гидроксид калия (KOH), катод оксид никеля NiO .

Первые никель-металлогидридные батареи появились в продаже в 1989 году. На сегодняшний день данный тип аккумуляторов считается обычным потребительским и промышленным товаром. Аккумуляторная батарея вместо кадмия (Cd) имеет для отрицательного электрода водородопоглощающий сплав [3].

Сфера применения: аккумуляторные батареи для различной электронно-бытовой техники: фонарики, пульты ДУ, рации, GPS навигаторы, часы, фото- и видекамеры, портативные медиапроигрыватели, измерительные приборы, детские игрушки и т. д.

4. Литий-ионный аккумулятор



Рисунок 5 – Внешний вид литий-ионной аккумуляторной батареи

Литий-ионный АКБ является наиболее эффективным и распространенным накопителем энергии в современном мире. Широкое применение получил в сфере электронных устройств, таких как: смартфоны, ноутбуки, цифровые фотоаппараты и видеокамеры, а также электромобили. Главным преимуществом является одно из лучших соотношений энергии к массе и очень медленный саморазряд при его неиспользовании. 1 кг лития способен хранить 3860 А*ч. Удельная энергоёмкость литий-ионных АКБ в 6-7 раз выше, чем у свинцово-кислотных аккумуляторов [4].

5. Литий-железо-фосфатный аккумулятор



Рисунок 6 – Внешний вид литий-железо-фосфатной аккумуляторной батареи

Дешёвым аналогом литий ионного АКБ является литий железо-фосфатный накопитель, который имеет способность к быстрой зарядке. Однако напряжение таких аккумуляторов ниже 3 В.

Данный аккумулятор имеет устройство рулонного типа, состоящего из 3 лент: анода, сепаратора с электролитом и катода, скрученных в несколько слоёв. Все слои из меди и алюминия соединяются отдельно в один контакт, положительный сверху, а отрицательный снизу. Когда элемент начинает разряжаться из-за нагрузки, ионы лития переходят через сепаратор от катода к аноду и отдают накопленный заряд, приводящий к реакции окисления. При зарядке ионы лития проходят через сепаратор от анода к катоду и аккумулируют заряд, при этом происходит процесс восстановления.

Малая емкость заряда - недостаток этих аккумуляторов. Однако при низких температурах данный тип АКБ более термоустойчив и эффективно показывает свою работоспособность [5].

6. Литий-ионный полимерный аккумулятор

Полимерные литий-ионные аккумуляторы являются усовершенствованной модификацией обычного литий-ионного аккумулятора. Данный тип аккумуляторов имеет малый вес и может быть изготовлен в любой форме.

Отличие между литий-ионным и литий-ионным полимерным заключается в том, что в литий полимерном в качестве электролита используется не жидкость, а пористый химический или гелеобразный электролит. Благодаря этому аккумуляторы имеют различную форму

исполнения. Ещё одним преимуществом является медленный саморазряд. Однако в отличие от литий-ионных аккумуляторов, они имеют слабовыраженный эффект памяти, быстрее теряют максимальную ёмкость заряда, и являются более дорогим устройством.

Оба этих аккумулятора сильно подвержены воздействию высоких и низких температур. При перегреве существует риск взрыва, а при низкой идет существенная потеря в ёмкости, как правило временная, но при регулярных низких температурах есть риск повредить батарею [6].

7. Литий-титанатный аккумулятор

Данный тип аккумулятора из сегмента литий-ионных аккумуляторов, но в ней уже отрицательный электрод сделан из литиевой соли титанатной кислоты ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$). Такая модернизация стала прорывной в сегменте альтернативной энергетики, ведь литий-титанатные батареи:

- Могут заряжаться за 12-15 минут;
- Допускают уровень разряда до 20% (80% отдаётся);
- Обеспечивают до 25000 циклов зарядки!
- Саморазряд около 0,6% в месяц;
- Диапазон рабочих температур от -30 до + 60°C.

У литий-титанатных аккумуляторов есть слабое место – напряжение одной ячейки 2,4 V. Такие низкие показатели напряжения требуют применения специальных контроллеров заряда, что приводит к снижению абсолютной энергоёмкости в пересчёте на единицу массы. Однако их самое главное преимущество - высокая продолжительность работы в системах автономного энергоснабжения. Стоимость данного аккумулятора ёмкостью 100 А*ч колеблется в районе 60 000 - 90 000 рублей в зависимости от напряжения АКБ.

8. Конденсаторы

Простые конденсаторы имеют огромную скорость накопления и отдачи энергии. Для стабильной работы конденсаторов им не важен определенный температурный режим. Суммарная ёмкость конденсаторных батарей увеличивается до нужной величины путём параллельного подключения, как у традиционных АКБ. Делятся на 2 основных класса: неполярные (сухие) и полярные (содержат жидкий электролит).

Однако у них есть 2 основных недостатка. Первый недостаток – это маленькая удельная плотность запасаемой энергии и как следствие небольшая ёмкость. Вторым недостатком - время хранения заряда составляет несколько секунд или минут, крайне редко, когда заряд может быть в запасе на несколько часов. В виду этих недостатков, сфера применения у них ограничена кратковременным накоплением заряда, достаточным для выпрямления, коррекции и фильтрации тока в электротехнике.

9. Суперконденсаторы



Рисунок 7 – Внешний вид суперконденсаторов

Суперконденсаторы, также называемые электрическими двухслойными конденсаторами или ультраконденсаторами, являются общими терминами для семейства электрохимических конденсаторов, которые не имеют обычных твердых диэлектриков. Ёмкость определяется двумя параметрами аккумулирования: двухслойная емкость и псевдоёмкость.

По своим свойствам суперконденсаторы находятся в разрыве между обычными конденсаторами и аккумуляторными батареями. Они способны накапливать наибольшее количество энергии на единицу объёма или массы (плотности энергии) среди простых конденсаторов. Суперконденсаторы поддерживают до 10 000 фарад / 1,2 В, до 10 000 раз больше, чем у электролитических конденсаторов, но выдают или принимают менее половины мощности в единицу времени (плотность мощности).

Удельная энергия и удельная плотность энергии суперконденсаторов составляет примерно 10 % в сравнении с АКБ, а их плотность по мощности обычно в 10-100 раз больше. Суперконденсаторы обладают более короткими циклами зарядки / разрядки, а также способны выдерживать большее число циклов зарядки и разрядки.

Суперконденсаторы поддерживают широкий спектр применений, включая:

- низкий ток питания для резервного копирования памяти в статической оперативной памяти;
- питание для автомобилей, автобусов, поездов, кранов и лифтов, в том числе рекуперация энергии при торможении, кратковременное накопление энергии и подача питания в импульсном режиме.

10. Алюминий

Потенциальным накопителем энергии могут быть АКБ, имеющие в своём составе электроды из алюминия, так как электрохимический эквивалент алюминия почти в 4 раза больше, чем у лития. При взаимодействии алюминия с водой происходит выделение электрической энергии с образованием водорода. Для возникновения реакции алюминия с водой он должен быть отделен от его естественного оксидного слоя. Данный процесс требует измельчения, а также химических реакций с едкими веществами или сплавами. При реакции с образованием водорода побочным продуктом является оксид алюминия, который может быть переработан обратно в алюминий в рамках процесса Холла-Херулта, делая химическую реакцию теоретически возобновляемой. При использовании электроэнергии от ВИЭ процесс

Холла-Херулта запускается и алюминий может использоваться для накопления энергии. Эффективность такого процесса выше, чем при прямом солнечном электролизе.

11. Проточная батарея

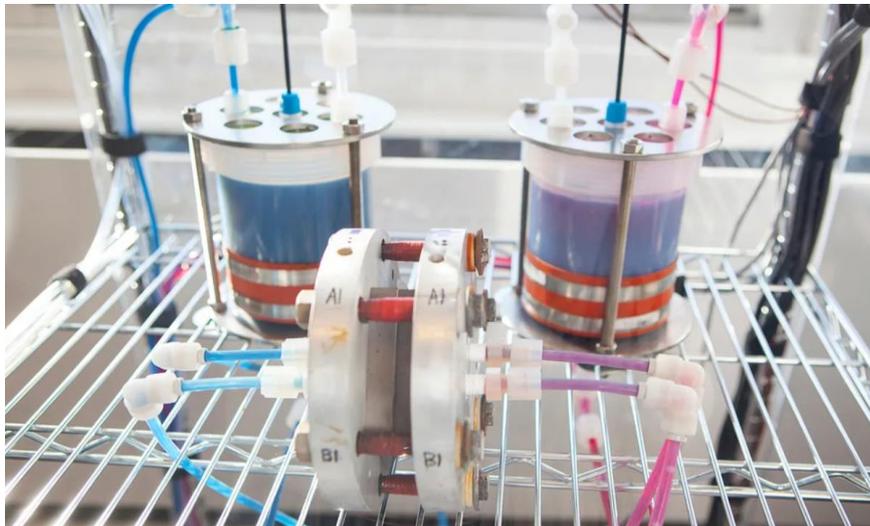


Рисунок 8 – Внешний вид проточной батареи

Принцип работы проточной батареи заключается в пропускании раствора через мембрану, где происходит обмен ионов для зарядки / разрядки элемента. Напряжение тока химически определено уравнением Нернста, и на практике составляет от 1,0 до 2,2 В. Электрическая ёмкость накопителя зависит от объёма ёмкостей, в которых находится электролит.

Проточная батарея технически близка как к топливному элементу, так и элементу электрохимического аккумулятора. Коммерческие предложения проточных батарей на рынке направлены на длительный полупериод хранения, например, для резервного энергоснабжения.

Перспективные системы аккумулирования

На сегодняшний день существует и развивается целый класс химических источников тока, таких как *металло-воздушные элементы*, одним из которых являются *цинково-воздушные гальванические элементы* с расходуемым цинковым анодом, выпускающиеся ограниченными сериями. Эти элементы питания небольшого размера продают компании Duracell, Eveready, Varta, Matsushita, GP, а также отечественное предприятие «Энергия». Другие металло-воздушные системы находятся на стадии разработок и тестовых испытаний.

Активно разрабатываются перезаряжаемые воздушно-цинковые аккумуляторы, принцип работы которых основан на реакции восстановления цинка (Zn) при прохождении тока на аноде. В перспективе учёные планируют получить более стабильный источник аккумулирования энергии с низкой степенью саморазряда.

Редокс аккумулятор (от англ. reduction - восстановление, oxidation – окисление) или *проточный аккумулятор* состоит из ёмкостей с электролитами, вспомогательных узлов (насосы для прокачки электролита по контурам анодов и катодов) и обратимых электрохимических ячеек с ионообменными мембранами. Принцип работы: на одном из электродов протекает обратимая реакция окисления одного из элементов пары с передачей

электрона (через внешнюю цепь) и протона (через ионообменную мембрану) на второй электрод, где происходит обратный процесс восстановления второго элемента, находящегося в растворе. Перезарядка системы происходит за счёт обратного процесса (подаётся внешнее напряжение на ячейки) или за счёт перезарядки системы новыми растворами. Наибольшее распространение получила система с использованием ванадия.

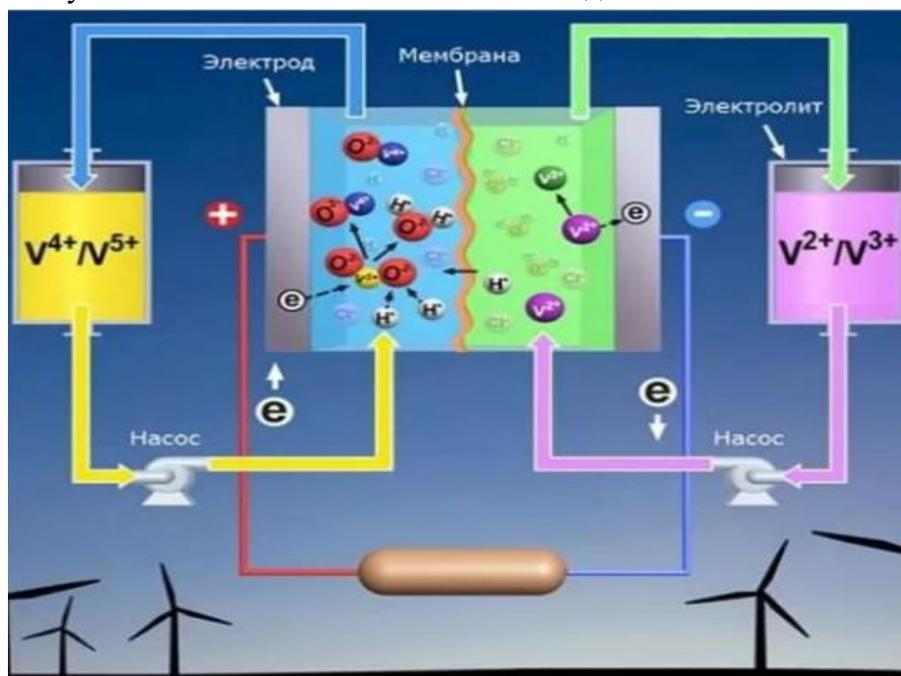


Рисунок 9 – Схема работы редокс-аккумулятора

Двойнослойный суперконденсатор (ДСК) состоит из двух пористых электродов из электронпроводящих материалов, разделенных заполненным электролитом сепаратором. Процесс аккумуляции начинается с разделения заряда на двух электродах с достаточно большой разностью потенциалов между ними. Электрический заряд ДСК определяется ёмкостью двойного электрического слоя. Двойной электрический слой на поверхности каждого электрода представляет собой отдельный конденсатор. Между собой они соединены последовательно через электролит, являющийся проводником с ионной проводимостью.

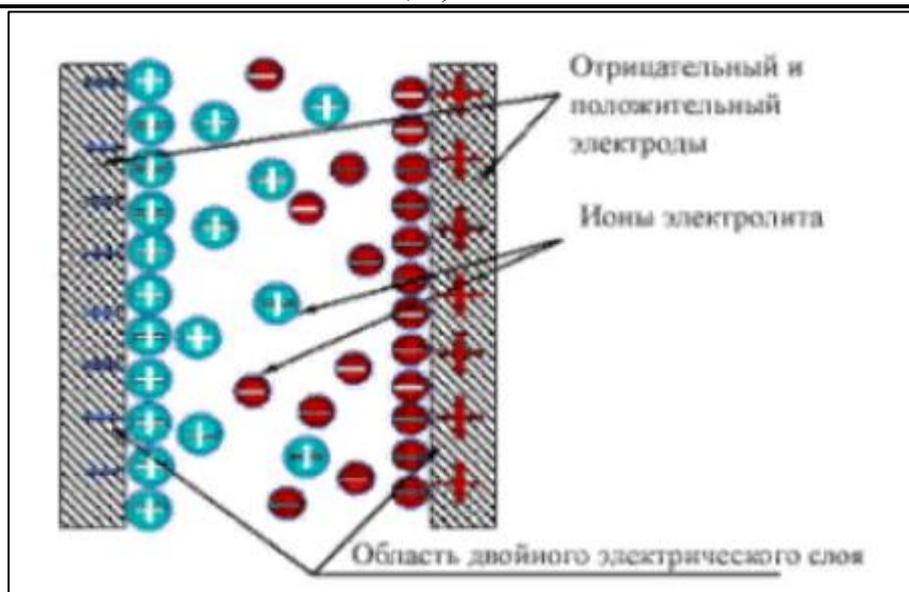


Рисунок 10 – Схематическое изображение двойнослойного суперконденсатора

Железно-никелевые аккумуляторы

В отличие от предыдущих моделей, это щелочная батарея, где положительный электрод железный, отрицательный электрод из гидрата окиси никеля, а электролит – концентрированный раствор гидроксида калия и лития. У железно-никелевых АКБ есть слабое место – саморазряд достигает 35% в месяц и напряжение одной ячейки всего 1,2 V. Но зато по всем остальным параметрам у них нет конкурентов:

- Стандартная глубина разряда на 80% (остаётся 20%);
- Зарядка более высоким или низким током не влияет на ёмкость и продолжительность эксплуатации;
- Снижение ёмкости около 10% за 10 лет. Замена электролита восстанавливает первоначальную ёмкость (рекомендация производителя);
- Продолжительность работы железно-никелевой батареи измеряется не циклами, а годами! Производитель гарантирует 30-50 лет работы при доливе дистиллированной воды раз в месяц и замене электролита раз в 10 лет;
- Допускается превышение скорости разрядки в 4 раза без изменения характеристик.

Особую привлекательность железно-никелевым аккумуляторам даёт побочный эффект при зарядке. Дело в том, что около 30% энергии тратится на электролиз, с выделением водорода. В оптимальной комбинации, водород собирается в специальные металлогидридные баллоны, а потом может питать топливный элемент. В этой компоновке КПД железно-никелевого накопителя энергии повышается до 98%.

При соблюдении минимальных требований к профилактике, железно-никелевый аккумулятор покупается один раз и на всю жизнь. И цена не слишком высокая. Колеблется в районе 30 000 рублей за 100 А*ч.

Ванадиевый проточный аккумулятор

Это одна из последних разработок, который аккумулятором назвать сложно, ибо производители и разработчики называют его накопителем энергии. Даже ёмкость ванадиевых

аккумуляторов измеряется не Ампер-часами, а запасёнными киловаттами энергии. Но относится он именно к электрохимическим устройствам, хотя принцип его работы отличается от всего, что производилось раньше.

Схематично это можно представить, как два резервуара, разделённых мембраной. В них находится один и тот же раствор, но во время зарядки, элементы в каждом резервуаре, приобретают нужную валентность. Для ванадиевых аккумуляторов, рабочее вещество оксид ванадия, но в продаже уже несколько лет есть проточные АКБ на растворе бром-цинк, и даже цинк-церий.

У них уникальная масштабируемость – для увеличения энергоёмкости, надо только увеличивать объём раствора. Но зато они могут разряжаться на 100%, без вреда для рабочих характеристик. Во время испытаний, в Японии за два года провели 200000 циклов зарядки/разрядки ванадиевой батареи, и характеристики не изменились.

Их стоимость можно оценить несколько иначе. За ванадиевый аккумулятор 2,5 кВт/ч с дополнительным инвертором и контроллером мы вынуждены будем заплатить 15 000 долларов. В пересчете на сегодняшний курс это почти 1,5 миллиона рублей.

В Таблице 1 представлены основные характеристики электрических и электрохимических типов накопителей энергии.

Таблица 1 – Основные характеристики различных типов накопителей энергии

Технология накопления электроэнергии	Удельная энергоёмкость, Вт*ч/кг	Степень изученности	КПД, %	Количество рабочих циклов	Срок службы, лет	Саморазряд (%/мес)	Рабочий диапазон температур	Время заряда	Время разряда	Влияние на окружающую среду
Электрические										
Конденсатор	5-10	Серийное применение	60-65	Более 50000	Около 5	-	От -40 до +40 °С	мин – ч	мин – ч	Незначительно
Суперконденсатор	5	Хорошо изучено	95	Более 100000	10-15	-	От -60 до +65 °С	с	мин – ч	Почти нет
Сверхпроводниковый магнитный накопитель (SMES)	1-10	Ведутся исследования	95-98	Более 100000	Более 20	-	От -40 до +40 °С	мин – ч	мин – ч	Средне
Электрохимические										
Свинцово-кислотная АБ (Lead-acid)	25-40	Серийное применение	70-90	500-5000	3-15	20%	От -40 до +40 °С	мин – ч	мин – ч	Средне
Никель-кадмиевая АБ (NiCd)	45-65	Серийное применение	60-65	100-900	10-20	10%	От -50 до +40 °С	мин – ч	мин – ч	Средне
Никель-металлогидридная АБ (NiMH)	60-72	Серийное применение	70-75	300-500 (у некоторых до 1000)	10-20	10%	От -60 до +55 °С	мин – ч	мин – ч	Экологически безопасны
Литий-ионная АБ (Li-ion)	110-270	Серийное применение	85-90	500-600	3-5	2% (Зависит от температуры и степени заряда)	От -20 до +60 °С	мин – ч	мин – ч	Опасны
Литий-железо-фосфатный АБ (LiFePO ₄)	90-160	Серийное применение	85-90	1500-3000 (у некоторых до 8000)	10-20	20%	От -30 до +55 °С	мин – ч	мин – ч	Достаточно безопасны
Литий-ионная полимерная АБ (Li-ion)	60-120	Серийное применение	85-90	800-900	6-8	20% (в течении 2 лет)	От -20 до +40 °С	мин – ч	мин – ч	Пожароопасны и взрывоопасны

Литий-титанатная АБ (Li4Ti5O12)	100	Серийное применение	85-90	Более 15000	5-15	0,02% (в сутки)	От -60 до +60 °С	мин – ч	мин – ч	Средне
Проточная гибридная цинкбромная АБ (ZnBr)	70-145	Ведутся исследования	75	Более 5000	5-10	-	От -40 до +40 °С	мин – ч	мин – ч	Средне
Металло-воздушная АБ (Metal-air)	90-135	Ведутся исследования			5-10	100-250	От -40 до +40 °С	мин – ч	мин – ч	Незначительно
Проточная ванадиевая редокс АБ (VRB)	20-35	Начало серийного применения	65-75	15000-20000	10-20	Небольшой процент саморазряда	От -40 до +40 °С	мин – ч	мин – ч	Средне
Двойной суперконденсатор (ДСК)	-	Ведутся исследования	-	-	-	-	От -40 до +40 °С	мин – ч	мин – ч	Средне
Железо-никелевая АБ	20-50	Устаревшая технология. Ведутся исследования по улучшению эффективности данного типа АКБ	65	Более 12000	30-50	20-40	От -40 до +46 °С	мин – ч	мин – ч	Не содержат кадмия и свинца, что делает их более безопасными для окружающей среды, чем никель-кадмиевые и свинцово-кислотные аккумуляторы
Гибридные (UltraBattery)	-	Ведутся исследования	-	3000	7-15	Невысокий саморазряд	От -40 до +40 °С	мин – ч	мин – ч	Средне
Натриево-серная АБ (NaS)	300-350	Серийное применение	89-90	200-400	5-7	-	От +300 до +350 °С	мин – ч	мин – ч	Средне

Список литературы

1. Т. Л. Кулова, И. И. Николаев, В. Н. Фатеев, А. Ш. Алиев. Современные электрохимические системы накопления энергии [Электронный ресурс]. // Kimya Problemleri. – 2018. - №1. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-elektrohimicheskie-sistemy-akkumulirovaniya-energii>.
2. Зырянов В. М. Системы накопления энергии: Российский и зарубежный опыт [Электронный ресурс]. // Энергетическая политика. — 2020. — №6 (148). — Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemy-nakopleniya-energii-rossiyskiy-i-zarubezhnyy-opyt>.
3. Коровин Н.В. Электрохимическая энергетика. – М.: Электроатомиздат, 1991, с. 46-47.
4. Кубарьков Ю. П. Проблемы и достижения технологии накопления энергии и ее применения в энергетических системах [Электронный ресурс]. // Инновационные процессы в науке и образовании. — 2019. — Том 1. — Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36692180>.
5. Пермякова Д. К. Развитие технологий накопления и хранения энергии – основа для распространения ВИЭ [Электронный ресурс]. // Пермский национальный исследовательский политехнический университет. — 2019. — Режим доступа: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/88153/1/eir_2019_151.pdf.
6. Яковлева Э. В. Развитие технологий накопления электрической энергии [Электронный ресурс]. // Молодой ученый. — 2017. — №50 (184). — Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/184/47286/>.

References

1. T. L. Kulova, I. I. Nikolaev, V. N. Fateev, A. Sh. Aliev. Modern Electrochemical Systems of Energy Accumulation [Elektronnyi resurs]. Kimya Problemleri. – 2018. - №1. – Mode of

- access: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-elektrohimicheskie-sistemy-akkumulirovaniya-energii>.
2. Zyryanov V. M. Sistemy okraveniya energii: Rossiyskiy i zarubezhnyy opyt [Energy accumulation systems: Russian and foreign experience]. Energy policy. — 2020. — №6 (148). - Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemy-nakopleniya-energii-rossiyskiy-i-zarubezhnyy-opyt>.
 3. Korovin N.V. Electrochemical Energy. Moscow, Elektroatomizdat Publ., 1991, pp. 46-47.
 4. Kubarkov Y. P. Problems and achievements of energy accumulation technology and its application in energy systems. Innovative Processes in Science and Education. — 2019. — Volume 1. - Mode of access: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36692180>.
 5. Permyakova D. K. Development of Energy Accumulation and Storage Technologies – the Basis for the Spread of RES [Development of Energy Accumulation and Storage Technologies – the Basis for the Spread of RES]. Perm National Research Polytechnic University. — 2019. - Access mode: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/88153/1/eir_2019_151.pdf.
 6. Yakovleva E. V. Razvitie tekhnologii accumulating electric energy [Development of technologies for the accumulation of electric energy]. A young scientist. — 2017. — №50 (184). - Mode of access: <https://moluch.ru/archive/184/47286/>.
-