



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 62

ТЕХНОЛОГИИ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Дубовсков К.Ю., Шинкарев В.В., Полуэктов Е.К.

ФГБОУ ВО "Оренбургский Государственный Университет", Оренбург, Россия (460018, г. Оренбург, проспект Победы, д.13, корп.3), e-mail: maildlyvsego56@mail.ru

Проблема с накоплением энергии и по сей день остаётся актуальной для современной энергетики. Как известно, электрическую энергию невозможно хранить в промышленных масштабах, поэтому актуальность проблемы заключается в тенденции инженеров-энергетиков усовершенствовать или разработать новые накопители энергии. В данной статье рассмотрены виды накопителей энергии, а также действующие технологии накопления энергии, которые применяются масштабно в энергетике на сегодняшний день.

Ключевые слова: Накопление энергии, аккумуляирование, накопители энергии, супермаховики, термальные хранилища, аккумуляторные батареи, суперконденсаторы, проточные батареи.

ENERGY STORAGE TECHNOLOGIES

Dubovskov K.Yu., Shinkarev V.V., Poluektov E.K.

FSBEI of HE Orenburg State University, Orenburg, Russia (460018, Orenburg, Pobedy Avenue, 13, building 3), e-mail: maildlyvsego56@mail.ru

The problem with energy storage remains relevant for modern energy to this day. As you know, electric energy cannot be stored on an industrial scale, so the urgency of the problem lies in the tendency of power engineers to improve or develop new energy storage devices. This article discusses the types of energy storage devices, as well as current energy storage technologies that are used on a large scale in the energy sector today.

Keywords: Energy storage, storage, energy storage, supermachoviki, thermal storage, batteries, supercapacitors, flow batteries.

Традиционная структура энергосистем с самого начала их основания предопределялась одновременностью процессов генерации и потребления электроэнергии и необходимостью поддерживать в каждый момент времени баланс между произведённой и потребляемой мощностью в условиях нестабильного характера нагрузки. Главное отличие электроэнергетики от других отраслей промышленности заключается в том, что невозможно хранить произведённый ею товар в промышленных масштабах. В единицу времени в этой отрасли должно производиться ровно столько электроэнергии, сколько нужно заказчикам [4, с. 93-94].

В последние десятилетия в структуре энергосистем происходят значительные изменения в лучшую сторону. Во-первых, это связано со значительной и постоянно возрастающей долей производства электроэнергии с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и развитием распределённой генерации. Если учитывать трудно

предсказуемый характер ВИЭ генерации, а также её зависимость от погодных условий, то для стопроцентного обеспечения баланса необходим объём резервной мощности, который пока реализуется в основном с помощью традиционной генерации. Данный способ поддержания баланса имеет свои ограничения, обусловленные техническими и экономическими факторами, и не может решить проблему интеграции ВИЭ в состав традиционной энергосистемы. Чтобы обеспечить компенсацию пиковых нагрузок, необходимы дорогие резервные генерирующие мощности, а также сложные географически распределенные энергосистемы [1, с. 10-11].

Классификация накопителей электроэнергии.

Накопитель энергии (НЭ) – это устройство, которое сохраняет и отдает энергию для использования, когда это необходимо. Накопители энергии различаются объемом запасаемой энергии, скоростью ее накопления и отдачи, удельной энергоемкостью, сроками ее хранения и другими параметрами, например, надежность и стоимость изготовления и обслуживания. НЭ все больше используются в электроэнергетических системах, транспорте, автономных энергетических установках и т. п. Все накопители можно разделить по виду энергии, с помощью которого происходит хранение (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Классификация накопителей энергии по виду энергии

Системы хранения электроэнергии (ЭЭ) можно разделить на системы промышленного хранения энергии, которые характеризуются относительно большой емкостью, и на малые накопители, используемые для бытовых нужд потребителей. Наиболее применяемыми способами (99 % мировой мощности) промышленного хранения электрической энергии являются механические системы, а именно – гидроаккумулирующие. Однако в мире все более часто начинают применять «альтернативные» системы хранения энергии (например, доля последних в 2018 году составила 60 %). За последние несколько лет компании перешли от оценок возможности применения различных технологий хранения энергии к разработке оптимальных методов интеграции систем хранения в энергосистемы [5, с. 625-627].

Функции, возлагаемые на накопители энергии

Технологии накопления электроэнергии не смогли бы получить такого быстрого развития, если бы не имели серьезного значения для всей энергетической системы. Основными функциями, возложенными на системы хранения, являются:

1. Быть основным источником энергии (а также аварийным источником энергии) и обеспечивать потребителей постоянным и бесперебойным питанием без подключения к электрическим сетям длительный период времени.
2. Регулировка параметров системы – снижать потери электроэнергии, выравнивать пиковые нагрузки в сети и повышать ее качество с помощью регулярного управления напряжением и частотой.
3. Оптимизация потребления (управляют графиком потребления за счет частичного обеспечения электроснабжения или аккумуляции электроэнергии). Использование НЭ позволит оптимизировать время нагрузки на наиболее дорогое генерирующее оборудование.
4. Накопители необходимы для создания энергетического резерва без избыточной работы генерирующих мощностей. Они обеспечат спокойное прохождение ночного минимума и дневного пика нагрузок.
5. Исключение перебоев в питании – создается резерв на случай аварий, а также электроэнергия становится дешевле. [2, с. 77-78].

Основные технологии хранения энергии

На сегодняшний день многие технологии хранения энергии достигли своей коммерческой реализации или хотя бы рабочего прототипа. Среди таких технологий можно выделить насосное хранение, сжатый воздух, маховик, свинцово-кислотные батареи, литий-ионные батареи, натриевые серные батареи, проточные батареи, суперконденсаторы и сверхпроводящие магнитные накопители энергии и т. д. Кроме того, с активным развитием материаловедения проводятся исследования новых технологий хранения энергии, таких как технологии хранения энергии в электрохимических накопителях на основе графена. В действительности же сотни демонстрационных проектов по хранению энергии на уровне МВт были построены по всему миру в настоящее время.

Насосно-накопительные установки

Гидроаккумулирующие электростанции, они же насосно-накопительные установки, являются наиболее крупной формой накопления энергии в больших масштабах и в то же время, пожалуй, самой старой формой современного хранения энергии, привязанного к энергосети. Принцип работы прост: имеется два резервуара для воды, один выше другого. Когда потребность в электричестве низкая, энергию можно использовать для закачки воды вверх. В пиковые часы вода устремляется вниз, вращая гидротурбину и вырабатывая электричество (Рисунок 2).

Реверсивные турбогенераторные узлы действуют как насос и турбина. Почти все подобные сооружения используют перепад высот между двумя водоемами. Подобные проекты разрабатывает, например, Германия в заброшенных угольных шахтах или сферических контейнерах на дне океана.



Рисунок 2 – Seneca Pumped Storage Generation Station, гидроэлектростанция в Пенсильвании в графстве Уоррен, использующая гидроаккумуляторы для выработки электроэнергии

Технология накопления энергии сжатого воздуха

Принцип работы пневматических аккумулирующих установок заключается в использовании избыточной энергии для сжатия воздуха для последующего производства электроэнергии. Сжатый воздух хранится в подземном резервуаре. В целом этот способ напоминает предыдущий, за исключением того, что вместо воды в резервуары нагнетается воздух. При необходимости воздух выпускается и вращает турбины. Эта технология существует в теории уже несколько десятков лет, но на практике, из-за ее высокой стоимости, есть всего лишь несколько рабочих систем и чуть больше — испытательных (Рисунок 3).



Рисунок 3 – Неадиабатическая установка сжатого воздуха мощностью 110 МВт в
Макинтоше, Алабама

Пневматический аккумулятор может преодолеть разрыв между волатильностью производства и нагрузкой. Он удовлетворяет потребности потребителей в энергии, эффективно обеспечивая доступную энергию для покрытия спроса.

Сжатие воздуха создает тепло: при сжатии температура внутри накопительных резервуаров повышается. Расширение, со своей стороны требует тепловой энергии. Если не добавлять дополнительной энергии, воздух после расширения будет намного холоднее. Поэтому недостаток такого рода накопителей - низкий КПД из-за того, что часть энергии при сжатии газа переходит в тепловую форму. Эффективность не более 55%, для рационального использования накопитель требует много дешевой электроэнергии, поэтому на данный момент технология используется преимущественно в экспериментальных целях, общая установленная мощность в мире не превышает 400 МВт.

Технология накопления энергии маховиком

Супермаховик представляет собой технологию накопления кинетической энергии. Электричество запускает мотор, который запасает энергию вращения в барабане. Когда она нужна, маховик замедляется. Образец промышленного применения технологии супермаховика можно наблюдать на Рисунок 4.



Рисунок 4 – Энергонакопительная станция, основанная на технологии маховика

Накопитель энергии маховика работает за счет ускорения ротора (маховика) до очень высокой скорости, аккумулируя энергию вращения. Когда энергия извлекается, скорость вращения маховика уменьшается; добавление энергии соответственно приводит к увеличению скорости маховика.

Одно из преимуществ маховика – способность без ущерба самому себе отдавать огромную энергию за маленький промежуток времени. Получается, он и аккумулятор, и конденсатор в одном лице. Большинство подобных систем используют электричество для ускорения и замедления маховика, но рассматриваются и устройства, которые непосредственно используют механическую энергию.

Системы супермаховиков имеют относительно долгий срок службы (срок службы полного цикла, указанный для маховиков, варьируется от 10^5 до 10^7 циклов использования), высокая удельная энергия (100—130 Вт · ч/кг или 360—500 кДж/кг) и удельная мощность.

Но все достоинства (КПД до 90%, неограниченный цикл заряда-разряда и долговечность) не могут компенсировать его саморазряд. Изобретение не получило широкого распространения, хотя оно и может применяться для обеспечения бесперебойного питания.

Технологии накопления тепловой энергии. Термальные хранилища

Аккумуляция тепловой энергии заключается во временном хранении и отводе тепла или холода. Аккумуляция тепла использует преимущества нагрева материала для накопления энергии. Технологии сезонного накопления тепловой энергии позволяют использовать тепло или холод спустя месяцы после того, как оно было получено из природных источников или отходов. Так, например, ночью хранящуюся в цистернах воду замораживают, а днем лед тает и охлаждает соседние дома, позволяя экономить на кондиционерах (Рисунок 5). Лед производится только во время непииковой нагрузки на электросети, а затем, вместо расхода дополнительной электроэнергии, используется накопленный холод для

охлаждения помещений. Эта технология привлекательна для регионов с жарким климатом и прохладными ночами, например, для Австралии или Калифорнии.

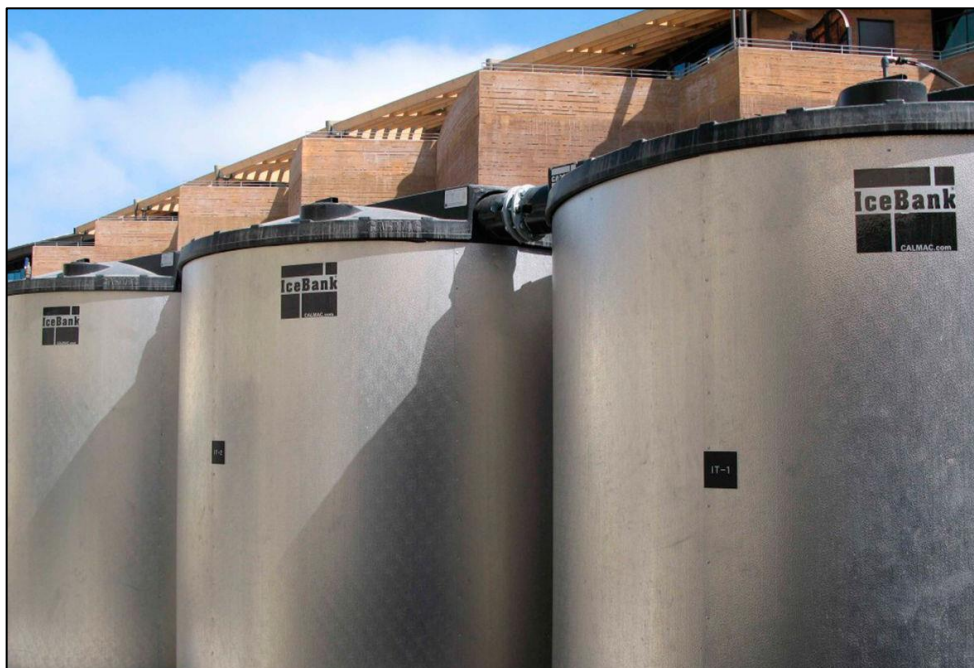


Рисунок 5 – Накопитель холода Калифорнийской компании «Ice Energy»

Технологии накопления тепловой энергии часто имеют срок окупаемости в диапазоне от четырёх до шести лет. Например, в Браstrupе (Дания) система коммунального солнечного теплоснабжения, также использует технологию накопления тепловой энергии при температуре хранения 65°C . Тепловой насос, который работает только при наличии избыточной энергии ветра в единой энергосети, используется для повышения температуры до 80°C для распределения. Когда избыточного электричества, генерируемого ветром, нет, используется газовый котел. 20 % процентов тепла Браstrupа имеют солнечное происхождение

Расплавленная соль в качестве накопителя энергии

Солнечную энергию можно использоваться для нагревания соли до нужной температуры. Полученный пар либо немедленно перерабатывается генератором в электричество, либо хранится в течение нескольких часов в виде расплавленной соли, чтобы, например, нагревать дома вечером. На Рисунке 6 можно увидеть фотографию такой аккумулирующей станции.



Рисунок 6 – Башня с расплавленной солью и зеркала, направляющие солнечные лучи к вершине башни

Расплавленная соль удерживает тепло в течение длительного времени, поэтому ее размещают на солнечных тепловых установках, где сотни гелиостатов (1) (больших сконцентрированных на солнце зеркал) собирают тепло солнечного света и нагревают жидкость внутри - в виде расплавленной соли. Затем она направляется в резервуар (2), далее посредством парогенератора (5) приводит во вращение турбину (6), так вырабатывается электроэнергия (Рисунок 7).



Рисунок 7 – Схема электростанции, работающей на расплавленной соли

Одним из плюсов является то, что расплавленная соль функционирует при высокой температуре - более 500 градусов по Цельсию и достигая 2000 градусов, что способствует эффективной работе паровой турбины.

Подобные технологии используются в солнечном парке имени Мохаммеда ибн Рашида Аль Мактума — самой крупной в мире сети солнечных электростанций, объединенных в едином пространстве в Дубаи [2, с. 77-78].

Проточные батареи

Одной из интересных технологий являются проточная батарея или проточная редокс-система (Рисунок 8).



Рисунок 8 – Комплект проточных батарей

Окислительно-восстановительные проточные батареи состоят из огромных цистерн с электролитом, которые пропускаются через мембраны, где происходит обмен ионов для зарядки (разрядки) элемента и создаётся электрический заряд. Обычно в качестве электролита используется ванадий, а также растворы цинка, хлора или соленая вода. Напряжение подобных установок обычно составляет от 1 до 2,2 В, а ёмкость накопителя зависит от объёма ёмкостей, в которых находится раствор.

Пока нет коммерческих проектов, которые стали бы использовать данную технологию. Общая установленная мощность — 320 МВт, в основном в рамках исследовательских проектов. Главный плюс — пока единственная технология на батареях с длительной выдачей энергии — более 4 часов. Также они надежны, просты в эксплуатации, у них долгий срок службы. Среди недостатков — громоздкость и отсутствие технологии утилизации, что является общей проблемой для всех батарей [7, с. 77-78].

Традиционная аккумуляторная батарея

Аккумуляторная батарея – это электрохимический источник энергии. Он содержит один или несколько электрохимических элементов. Аккумуляторы бывают разных форм и размеров, от кнопок до мегаваттных энергосистем. Подобные энергоносители в наши дни окружают нас со всех сторон. Любое носимое устройство, смартфон, ноутбук, везде так или иначе будет компактный аккумулятор. На данный момент одним из самых распространенных типов аккумулятора является литий-ионный. Своё название эти элементы питания получили

из-за использования в качестве катодных материалов литиевых производных (литий-феррофосфатов, кобальтата лития, литий-марганцевой шпинели и т.д.), а в качестве переносчиков заряда - ионов лития.

Но помимо литий-ионных аккумуляторов существуют и другие аккумуляторные батареи различные по своему химическому составу:

1. Свинцово-кислотные аккумуляторы, занимающие самую большую долю рынка аккумуляторов. В заряженном состоянии отрицательный электрод из металлического свинца и положительный электрод из сульфата свинца погружают в электролит с разбавленной серной кислотой (H_2SO_4). В процессе разряда электроны выталкиваются из ячейки, так как на отрицательном электроде образуется сульфат свинца, а электролит восстанавливается до воды.

2. Никель-металлогидридная батарея (NiMH): первые коммерческие образцы появились в 1989 году. Сейчас это обычный потребительский и промышленный товар. Батарея имеет для отрицательного электрода вместо кадмия водородопоглощающий сплав.

3. Литий-ионный полимерный аккумулятор: эти аккумуляторы имеют малый вес и могут быть изготовлены в любой форме.

4. Графеновые аккумуляторы – это одна из новейших разработок. Графен является третьей формой углерода (первые две – это алмаз и графит). Данный материал экологически чист, что может решить проблему утилизации аккумуляторов. Принцип действия аккумулятора схож с литий-полимерным. Графеновые аккумуляторы превосходят все существующие электрохимические элементы как в энергоемкости, так и в массе.

Современные технологии позволили добиться высокой энергоемкости аккумуляторных элементов и повысить безопасность при их эксплуатации [3, с. 46-47].

Заключение

Мировой рынок систем накопления электроэнергии интенсивно развивается: совершенствуются технологии, накапливается опыт практического применения. Системы позволяют принципиально по-новому решать многие проблемы управления нормальными и аварийными режимами энергосистем. Наиболее интенсивно развиваются электрохимические накопители с литий-ионными аккумуляторными батареями, которые за последнее десятилетие подешевели вдвое, что заметно сказалось на их инвестиционной привлекательности.

Такая обширная область, как технологии накопления электроэнергии, только за последние 10 лет начала активно развиваться. Немаловажный фактор, который необходимо решить в будущем – это экологичность. С развитием альтернативных систем накопления энергии, таких как термальные хранилища, накопление сжатым воздухом или ГАЭС, а также модернизацией традиционных электрохимических источников энергии появится возможность снизить пагубное влияние систем накопления электроэнергии на экологию.

Список литературы

1. Васильков О. С. Повышение энергоэффективности электротехнических комплексов горнообогатительных предприятий с использованием систем накопления электроэнергии [Электронный ресурс]. // Диссертация. — 2021. — Режим доступа: https://spmi.ru/sites/default/files/zashita/vasilkov_dissertaciya.pdf (дата обращения 29.03.2023).

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> (дата обращения 29.03.2023).
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> (дата обращения 29.03.2023).
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 (дата обращения 29.03.2023).
6. Физический энциклопедический словарь ред. Прохоров, А.М. Издательство: М.: Советская Энциклопедия. 1984 г.
7. Яковлева Э. В. Развитие технологий накопления электрической энергии [Электронный ресурс]. // Молодой ученый. — 2017. — №50 (184). — Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/184/47286/> (дата обращения 29.03.2023).

References

1. Vasilkov O. S. Improving the energy efficiency of electrical complexes of mining and processing enterprises using energy storage systems [Electronic resource]. // Dissertation. — 2021. — Access mode: https://spmi.ru/sites/default/files/zashita/vasilkov_dissertaciya.pdf (accessed 29.03.2023).
 2. Zyryanov V. M. Energy storage systems: Russian and foreign experience [Electronic resource]. // Energy Policy. — 2020. — №6 (148). — Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemy-nakopleniya-energii-rossiyskiy-i-zarubezhnyy-opyt> (accessed 29.03.2023).
 3. Korovin N.V. Electrochemical power engineering. – М.: Electroatomizdat, 1991, pp. 46-47.
 4. Kubarkov Yu. P. Problems and achievements of energy storage technology and its application in energy systems [Electronic resource]. // Innovative processes in science and education. — 2019. — Volume 1. — Access mode: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36692180> (accessed 29.03.2023).
 5. Permyakova D. K. The development of energy storage and storage technologies is the basis for the spread of RES [Electronic resource]. // Perm National Research Polytechnic University. — 2019. — Access mode: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/88153/1/eir_2019_151.pdf (accessed 29.03.2023).
 6. Physical Encyclopedic Dictionary ed. Prokhorov, A.M. Publisher: Moscow: Soviet Encyclopedia. 1984
 7. Yakovleva E. V. Development of electric energy storage technologies [Electronic resource]. // Young scientist. — 2017. — №50 (184). — Access mode: <https://moluch.ru/archive/184/47286/> / (accessed 29.03.2023).
-