

Отраслевая конференция
**«ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ
И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ.
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ
ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ»**



16-17 октября 2012 года



СБОРНИК ДОКЛАДОВ

Содержание

Оськин С.В., Дидыч В.А., Потешин М.И., Моргун С.М., Ильченко Я.А., Кубанский государственный аграрный университет Результаты выполнения программы энергетического обследования сельскохозяйственных предприятий Краснодарского края	3
Здоров И.Б., ООО «Энерго-Эксперт» Нанотехнологии против хищений энергоресурсов	8
Попов М.И., независимый эксперт Использование АСКУЭ для снижения потерь электроэнергии на примере разработок компании ОАО «Каскад»	14
Чуева Е.М., ООО «Электромашиностроительный завод» Энергосберегающее оборудование производства ООО «Электромашиностроительный завод»	22
Федоров Н.А., СП «Сим-Росс-Ламифил» Энергоэффективное решение с проводом нового поколения АССС™ на примере реконструкции ВЛ 110кВ	29
Черкасов М.И., ООО «Авелар Солар Технолоджи» Предложения компании «Авелар Солар Технолоджи» по строительству солнечных электростанций в Южном федеральном округе РФ	36
Орехов А.В., ОАО «Региональный Центр Биотехнологий» Опыт Белгородской области по строительству биогазовых комплексов на отходах животноводства	44
Стребков Д.С., Харченко В.В., Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства Инновационные разработки ГНУ ВИЭСХ в области возобновляемой энергетики для использования в АПК ЮФО России	51
Харченко В.В.*, Адомавичюс В.Б.**, Сычев А.О.*, Гусаров В.А.* * Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства, Москва ** Каунасский технический университет, Каунас, Литва Микросеть на основе ВИЭ для энергоснабжения сельских территорий	65

Грибков С.В., ЗАО НИЦ «ВИНДЭК» <i>Возобновляемая и энергосберегающая энергетика в ЖКХ Краснодарского края</i>	75
Плотницкий И.О, ООО «Объединение инноваций» <i>Эффективность использования тепловых насосов совместно с солнечными коллекторами</i>	88
Юдаев И.В., Веселова Н.М., Ракитов С.А., ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ <i>Опыт и перспективы использования ВИЭ в Калмыкии, Волгоградской и Астраханской областях</i>	92
Гулиа Н.В., Кацай А.В., ООО «Русский сверхпроводник» <i>Сравнительный анализ эффективности систем зарядки электрохимических аккумуляторов и накопителей кинетической энергии</i>	100
Варигина Л.В., Центр стандартизации и сертификации ОАО «НИИЭС» <i>Стандартизация в сфере ВИЭ как инструмент содействия развитию эффективных технологий</i>	110
Жестков Ю.Н., ООО «Персональные энергосистемы», Ванурин В.Н., ГНУ СКНИИМЭСХ <i>Ветроэнергетическая установка для хозяйства АПК</i>	121

Сравнительный анализ эффективности систем зарядки электрохимических аккумуляторов и накопителей кинетической энергии

Гулия Нурбей Владимирович, д.т.н., проф., ООО «Русский сверхпроводник»,
научный руководитель, gulia_nurbei@mail.ru

Кацай Александр Владимирович, к.ф.н., ООО «Русский сверхпроводник»,
генеральный директор, proton@rhsc.ru

В настоящее время в энергетике у производителей и потребителей энергии растет интерес к возможностям использования накопителей энергии (см. например, отчет компании Branap [1]). Спектр их применения и эффектов, которые они дают в энергосистеме, достаточно широк. Хорошо известна сфера применения накопителей разных типов для обеспечения равномерности работы возобновляемых источников энергии – ветрогенераторов и солнечных электростанций. Гидроаккумулялирующие станции применяются в большой энергетике как буферные накопители и регуляторы частоты в сети. В функции буферных накопителей работают крупные химические аккумуляторы, например, т.н. редокс-технологии. Все больше приходит известий о применениях накопителей кинетической энергии, использующих в качестве рабочего тела маховики и супермаховики. Некоторые накопительные технологии (маховики, химические аккумуляторы) используются в установках обеспечения бесперебойного питания, а также в качестве регуляторов частоты и мощности в энергосистемах. Также хорошо известно, что разные накопительные технологии обладают сильными и менее сильными сторонами при различных режимах их использования. Например, накопители кинетической энергии хороши для работы в режиме кратковременной выдачи больших мощностей, способны практически мгновенно, за 57 мсек включаться в режим генерации. Химические источники тока более инерционны, не могут работать эффективно в режимах, когда необходимо быстро выдать большую мощность. При этом кинетические накопи-

тели не могут так же долго хранить энергию, как и аккумуляторные батареи (АКБ).

Зачастую, у потребителей разных типов накопительных агрегатов возникают вопросы об эффективности той или иной технологии. Причем их интересуют как эффекты на всем протяжении жизненного цикла, так и отдельных его стадий. Вопрос этот достаточно сложный для рассмотрения и требующий большого фактического материала и глубокой теоретической проработки.

В нашем кратком исследовании мы попытаемся сравнить эффективность двух накопительных технологий – аккумуляторные батареи и накопители кинетической энергии (НКЭ) – на стадии зарядки, вплоть до стадии перехода в ожидание режима разрядки.

Постановка задачи

Хотя будет довольно большой натяжкой сравнивать накопительные технологии, основанные на различных физических принципах, однако имеется всеобщая мера, которая позволяет это сделать, хотя бы приблизительно. Таким универсальным измерителем может послужить стоимость, или, переводя с политэкономического языка – совокупность затрат по разным технологиям для получения одного и того же результата. В нашем случае в качестве требуемого результата мы берем два вида накопителей-заряженных до одинакового уровня энергии. Задача наша состоит в том, чтобы посчитать суммарные затраты, возникающие в процессах передачи и преобразования энергии, которые приведут к получению зарядки накопителя в объеме 3,33 кВт*часа (или, в системе СИ – 12 МДж). Такую цифру мы выбрали потому, что это достаточно показательная для малого и среднего потребителя энергия. Кроме того, мы имеем экспериментальный образец накопителя кинетической энергии близкой энергоемкости, что позволяет легко экстраполировать его показатели.

Что касается АКБ, то хорошо известно, что единичные аккумуляторы могут быть составлены в комплексы какой угодно емкости достаточно легко. Т. е. мы сравниваем затраты, или, техническим языком – КПД процесса зарядки двух типов накопителей с уровня 3 МДж уровня до 12 МДж. И попытаемся экстраполировать эти затраты на 20ти летний период, равный сроку службы накопителя кинетической энергии. Конечно, за это время придется заменить несколько наборов АКБ, но мы это не принима-

ем во внимание, также как и капитальные затраты на данное действие, поскольку считаем абсолютные затраты только в процессе зарядки аккумуляторов.

Нам нужно посчитать, сколько энергии потеряется «в дороге» от розетки и до заряженных батарей и раскрученного до этого уровня энергии маховика и сравнить эти данные между собой.

Будем считать, что к началу зарядки каждый из накопителей имеет остаточный уровень запасенной энергии в 25% от 12 МДж, т. е. 3 МДж. Другими словами, нам нужно посчитать, сколько мы должны взять энергии из сети, чтобы после всех потерь энергоемкость обоих аккумуляторов была равной 12 МДж или, какие потери сопровождают процесс пополнения энергии накопителей на 9 МДж.

Будем рассматривать стандартные свинцово-кислотные батареи, потому, что литий-ионные являются в настоящее время достаточно редко применяемой технологией, а другие типы батарей являются дорогостоящими и применяются тоже сравнительно нечасто для использования в энергетических целях. Для упрощения задачи будем считать, что в процессе всего срока службы такого химического аккумулятора его энергоемкость остается неизменной – на номинальном уровне, хотя на практике в течение времени его службы энергоемкость падает существенно ниже от номинального значения. Т. е. мы приводим АКБ в одинаковые условия с НКЭ по энергоемкости в течение всего срока эксплуатации. Количество циклов заряда-разряда АКБ составляет 500, а длина одного цикла работы составляет двое суток (с момента начала зарядки и до разрядки до уровня 25%). Т. е. срок службы при постоянной эксплуатации прием равным примерно трем годам. Оба устройства находятся в одинаковых внешних условиях – при комнатной температуре и нормальной влажности.

Время зарядки АКБ и НКЭ

По данным, изложенным в [2], «обычно нормальное время полного заряда около 15 часов» (для батарей, разряженных на 25%). По другим данным [3] обычно новая, приведенная в рабочее состояние батарея заряжается от 3 до 8 ч. Примем в среднем, что наша батарея, не имеющая в нашем исследовании возраста в течение всего своего срока службы в три года, полностью заряжается в течение 10 часов от состояния 25% разрядки.

Продолжительность разгона маховика рассчитывается по формуле: емкость в Дж ($1 \text{ Дж} = 1 \text{ Вт} \cdot 1 \text{ сек.}$) деленная на мощность (Вт) электромашины. НКЭ, анализируемый нами далее, с электромашиной мощностью 22 кВт с уровня зарядки в 25% от 12 МДж, достигнет 100% зарядки за порядка 410 секунд (менее 7 минут).

Процесс зарядки аккумуляторных батарей

Потери в процессе зарядки АКБ складываются из следующих составляющих: потери в зарядном устройстве, потери на саморазрядку батарей во время зарядки, потери на нагрев электролита и других элементов батареи при зарядке, затраты на обслуживающий персонал для контроля за процессом зарядки (нужно постоянно отслеживать «вручную» процесс зарядки батареи, чтобы неправильно выбранный режим не привел к преждевременному выходу из строя аккумулятора). Не будем принимать во внимание затраты на обслуживающий персонал. Поэтому нам остается выяснить КПД зарядного устройства и КПД процесса зарядки самого аккумулятора (частное между подаваемой на аккумулятор энергией и реально запасаемой в нём) и перемножить их.



Рисунок 1. Зарядное устройство и АКБ

А. Потери в зарядном устройстве

Зарядка АКБ происходит постоянным током. Для его получения необходимо выпрямить стандартное питание в виде однофазного напряжения 220 В. При подобном заряде сила тока в ходе всего времени заряда должна

оставаться постоянной. Для преобразования энергии применяют стандартные и самодельные преобразовательные выпрямительные (зарядные) устройства. У разных фирм производителей аккумуляторов КПД таких устройств заметно отличается.

В доступных данных в сети интернет сведения о значении КПД такого устройства, т. е. отношении выдаваемой на аккумулятор энергии к принимаемой из розетки, сильно варьируется в достаточно широком диапазоне от 30% (см., например, [4]) и до «более 80%» (как говорится в рекламе одного из производителей таких устройств, см. [5]), с разными промежуточными значениями [6]. На наш взгляд, нижняя приведенная граница значения КПД зарядного устройства более реальна, что, однако, все равно требует экспериментального подтверждения. Но мы принимаем для наших расчетов максимальное из найденных доступных источников значение в 80%.

Б. Потери в аккумуляторе при зарядке

Как пишет в своей статье Л.И.Ридко, «В процессе зарядки аккумулятора в нем происходят химические преобразования. Только часть поступающей энергии тратится на эти преобразования, другая часть превращается в тепло. Можно ввести понятие «КПД процесса зарядки аккумулятора». Это та часть энергии, поступающей от зарядного устройства, которая запасается в аккумуляторе. Значение КПД никогда не бывает 100%, при одних условиях зарядки КПД выше, при других – ниже. Тем не менее, КПД может быть довольно высоким, что позволяет производить зарядку большими токами не опасаясь перегрева аккумулятора» [7].

Емкость, которую нужно накопить в АКБ, определена нами в 9 МДж или 3,33 кВт*часа. Напряжение батареи составляет 12 В. Обычно эту процедуру производят силой тока 5 А. Обычно емкость АКБ указывают в ампер-часах (условная несистемная единица, означающая, что на напряжении 12 В батарея может выдать указываемое количество ампер-часов (например, 5 ампер в течение 11 часов. Следовательно, нам нужно отложить в аккумуляторах $3,33 * 1000 \text{ ВА} \cdot \text{час}$ деленное на 12 В или $277 \text{ А} \cdot \text{часов}$. Если каждая батарея имеет маркировку 55Ah, и при этом заряжено на 25%, то нам необходимо одновременно или последовательно зарядить 7 батарей.

Как пишут в [8], коэффициент полезного действия заряда при комнатной температуре для исправных батарей может быть принят равным 8595%

при токе заряда не более $0,1C_{20}$. Ток зарядки обычно измеряют в единицах C , где C – численное значение емкости аккумулятора. Это не совсем корректно с точки зрения размерностей физических величин, но принято считать, что ток $1C$ для аккумулятора емкостью, например, $2500 \text{ мА} \cdot \text{ч}$, равен 2500 мА . Коэффициент использования тока зависит от силы зарядного тока, уровня заряженности батареи и температуры электролита. Он будет тем меньше, чем больше зарядный ток, чем выше уровень заряженности и чем ниже температура электролита. При зарядке полностью разряженных батарей при комнатной температуре, процесс заряда в начальный момент идет с наибольшим коэффициентом использования тока. Увеличение степени заряженности и повышение поляризации ведут к повышению суммарного внутреннего сопротивления батареи и повышению потерь энергии на нагрев электролита, электродов и прочих компонентов батареи. Кроме того, на финальной стадии заряда аккумуляторов начинается вторичный процесс – электролиз воды, входящей в состав электролита.

При зарядке 12вольтовых аккумуляторных батарей током 15 А КПД устройства достигает 75% [9].

Источник [10], анализирувавший одногодичные батареи, утверждает, что поскольку такая АКБ «достаточно долго находится в эксплуатации КПД зарядки составит порядка 60% ».

Исследователь процессов зарядки Юрий Тимофеев [11] утверждает, что КПД процесса зарядки составляет $40 - 50\%$, остальное тратится на нагрев, а также связанные с этим электрохимические процессы.

Мы, для корректного анализа, примем среднее между приведенными в этом кратком обзоре значение, равное 60% .

Итак, у нас имеются данные по среднему КПД устройства зарядки, равному $0,8$ и КПД процесса зарядки аккумулятора (с учетом потерь на нагрев, электрохимические процессы и потерь на саморазрядку), равному $0,6$. Общий КПД процесса зарядки составит произведение этих значений или $0,48$. Округлим цифру в лучшую для аккумулятора сторону и примем его равным $0,5$. Это означает, что потери энергии будут равны полученному на выходе заряду аккумулятора. Наша сборка из нескольких аккумуляторов должна получить 9 МДж энергии или $2,5 \text{ кВт} \cdot \text{часа}$. Столько же будет потеряно в процессе зарядки. То есть, за 500 циклов зарядки аккумулятор получит $1250 \text{ кВт} \cdot \text{часов}$ электроэнергии. Потери также составят такой же объем.

За 20ти летний период эксплуатации батарей в рассматриваемой нами энергосистеме будет потеряно в процессе зарядки 8333 кВт*час.

Эффективность процесса зарядки накопителей кинетической энергии

КПД подзарядки маховика НКЭ (см. Рис. 2) от электросети зависит от следующих видов затрат энергии:

- потери в зарядной электромашине; при номинальной мощности асинхронной электромашины хорошего производителя её КПД равняется около 0,94 (КПД бывает указан на шильде электромотора);
- потери в частотном преобразователе; при мощности около 20 кВт это тоже составит примерно 0,94;
- потери в опорах маховика (обычных подшипниках);
- потери на аэродинамическое сопротивление в корпусе со специальным газовым составом при давлении 100 Па.

Для накопления общего запаса энергии 12 МДж потребуется маховик общей массой 1300 кг, диаметром чуть менее 1 метра и шириной обода порядка 400 мм с моментом инерции 140 кг*м².



Рисунок 2. НКЭ (4 МДж) с мотор-генератором 22 кВт и инвертор-преобразователь.

Предполагается, что в начале зарядного цикла маховик вращается с минимальной частотой вращения 2000 об/мин., обладая при этом запасом энергии в 3 МДж, и он начинает разгоняться электромашинной, управляемой

инвертором, от сети, до скорости 4000 об/мин., приобретая максимальный запас энергии 12 МДж. Необходимо определить КПД процесса подзарядки маховика с 3 до 12 МДж или количество энергии, потраченной на всякого рода потери при приобретении маховиком дополнительных 9 МДж энергии.

1. Потери в электромашине и инверторе: общий КПД этих двух устройств равен произведению их КПД $0,94 * 0,94 = 0,8836$.

2. Потери в опорах маховика. Они рассчитываются по калькулятору компании SKF, изложенному в каталоге SKF[12].

Согласно чертежу НКЭ маховик закреплен на 6 подшипниках производства компании SKF, обеспечивая долговечность свыше 40 тыс. часов. Нагрузка на каждый подшипник при этом составит около 2200 Н; принимаем с запасом значение в 3000 Н. При вязкости масла 5 сСт (подшипник разогреет постоянной работой) и частоте вращения 4000 об/мин. Потери в нем составят 56,3 Вт, а в 6ти подшипниках – 338 Вт. Известно, что со снижением скорости вращения мощность потерь в парах трения падает. При 2000 об/мин. Эти потери составят около 170 Вт. Средняя мощность потерь в подшипниках при разгоне маховика составит 253 Вт.

3. Аэродинамические потери рассматриваются по формулам, изложенным в книге Н.В.Гулиа[13]. Формулы эти, многократно проверенные на практике, были также подтверждены проверкой, проведенной по данным испытаний маховиков фирмой Локхид (США). При этом для данного маховика, вращающегося с частотой 4000 об/мин. при давлении 100 Па, мощность потерь составит: в водороде – 30 Вт, гелии – 60 Вт, воздухе – 113 Вт. При 2000 об/мин., соответственно, 5, 10 и 17 Вт. Средние потери мощности для этих трех сред составят, соответственно, – 17,5; 20 и 65 Вт.

4. Суммарные потери мощности при зарядке маховика электромашиной с инвертором мощностью 22 кВт:

- потери в электромашине и инверторе:
 $P_1 = (10,8836) * 22 \text{ кВт} - 2,5 \text{ кВт};$
- потери на сопротивление в опорах:
 $P_2 = 253 \text{ Вт};$
- потери на аэродинамическое сопротивление в водороде при 100 Па:
 $P_3 = 17,5 \text{ Вт}.$

Общие потери мощности составят $P_{\Sigma} = P_1 + P_2 + P_3 = 2,77 \text{ кВт}.$

Разгон маховика при номинальной мощности разгона в 22 кВт с сообщением 9 МДж ($2,5 \text{ кВт} * \text{час}$) будет длиться

$T_p = 2,5 \text{ кВт} \cdot \text{час} / 22 \text{ кВт} = 409 \text{ сек} = 0,113 \text{ часа}.$

Общие потери энергии составят:

$\Delta E = 2,77 \text{ кВт} \cdot 0,113 \text{ часа} = 0,31 \text{ кВт} \cdot \text{час}.$

Это составляет от энергии зарядки 2,5 кВт*час долю в 12,6%, а КПД процесса зарядки НКЭ составит

$\eta = 100 / 12,6 = 87,4\%.$

Сравнение потерь (КПД) АКБ и НКЭ

Сравнивая эффективность зарядных циклов АКБ и НКЭ при прочих равных условиях эксплуатации получаем следующую картину. КПД НКЭ при зарядке равен 87,4%. Т. е. при запасании 9 МДж (2,5 кВт*час) в процессе раскрутки маховика будет теряться 0,31 кВт*часа. Потери в одном зарядном цикле АКБ составляют 2,5 кВт*час. За период в 20 лет, или за 3500 циклов, при зарядке один раз в два дня НКЭ потеряет 1137,5 кВт*часов, а АКБ – 8333 кВт*час, или в 7,3 раза больше. Т. е. эффективность НКЭ на этапе зарядки в 7,3 раза больше, чем у АКБ.

При этом следует иметь в виду, что общий экономический эффект от применения НКЭ прямо пропорционален количеству его полных циклов. Т. е., чем чаще он работает в сутки, тем большую отдачу он приносит владельцу. Количество таких циклов ограничено только скоростью зарядки накопителя (конечно, без учета режимов энергопотребления потребителя). Другими словами, теоретически за сутки такой НКЭ сможет сделать 109 циклов зарядки-разрядки. За 20 лет эксплуатации в таком режиме он смог бы сделать 795700 циклов или в 251,4 раза больше, чем мы приняли в данной статье для того, чтобы уравнивать исходные условия для проведения сравнения с АКБ. Анализируя модели реального применения НКЭ в условиях, например, предприятий с резко неравномерным графиком нагрузки, можно принять количество таких циклов в сутки за 4050, что соответствует, например, графикам нагрузки у предприятий химической и металлургической промышленности (скачки и провалы потребляемой мощности от установившихся номинальных режимов в одни сутки).

Обратим внимание также на то, что мы сильно упрощали параметры и характеристики накопителей (например, считали, что емкость АКБ остается в течение его срока службы постоянной) и условия их эксплуатации и при сравнении конкретных изделий необходимо эти данные привлекать в анализ.

Выводы

Для того, чтобы делать полностью обоснованные выводы из сравнения эффективности АКБ и НКЭ, конечно, нужно принимать во внимание все потери в полном цикле его работы, т. е. на стадиях зарядки, хранения и выдачи энергии. При этом, все условия работы разных видов накопителей должны быть одинаковы. Но это невозможно в силу физических (и химических) основ их функционирования, о чем мы уже упоминали выше.

В силу этого наши выводы могут помочь в более точном определении сегментов наиболее эффективного применения этих типов накопителей энергии. Это, в конечном итоге, должно помочь выявить возможности комплексирования разных накопительных технологий с точки зрения максимального использования для нужд потребителя их сильных и наиболее выгодных ему сторон.

Литература

1. http://www.branan.ru/uploads/Power%20review_5.pdf
2. <http://alex---1967.narod.ru/akkumulators.html>
3. http://www.ufacars.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=4733
4. http://www.mobilpower.ru/article_info.php?articles_id=3
5. http://www.solarinntech.ru/products/list.php?SECTION_ID=29
6. Нередки такие утверждения: «При зарядке 12вольтовых аккумуляторных батарей током 15 А КПД устройства достигает 75%, а температура внутри корпуса после 10 ч непрерывной работы не поднимается выше 40 С». <http://vicgain.sdot.ru/zaryst/ZY112.htm>
7. Ридко Л.И. Немного о зарядке NiMH и NiCd аккумуляторов. http://сахара.ru/lib/charge_nimh.pdf
8. Зарядка автомобильного аккумулятора. <http://www.powerinfo.ru/caraccumulator-charge.php>
9. <http://www.avtoinvz.ru/zarust1/zarust12.htm>
10. <http://sevbat.com/consulting/1/>
11. Аккумулятор и его обслуживание. http://yuri-timofeev.narod.ru/auto/auto_01/auto_01.html
12. www.skf.com
13. Н.В.Гулиа «Маховичные двигатели», М., Машиностроение, 1976, с. 46.