

Технологии аккумуляторов для ЦОД: сравнение литий-ионных (Li-ion) аккумуляторов со свинцово- кислотными аккумуляторами с регу- лирующим клапаном (VRLA)

Информационная статья № 229

Версия 0

Авторы: Виктор Авелар
Мартин Захо

Аннотация

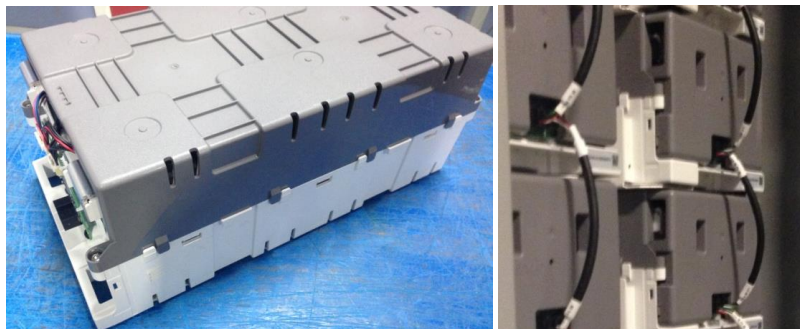
За последние несколько лет цены на литий-ионные аккумуляторы значительно снизились, благодаря чему они становятся целесообразным выбором для использования в качестве ИБП для ЦОД. Данная статья содержит краткое описание литий-ионных (Li-ion) аккумуляторов и их сравнение со свинцово-кислотными аккумуляторами с регулирующим клапаном (VRLA) для статических устройств ИБП, включая описание химических процессов и технологий. Приведен анализ совокупной стоимости владения за 10 лет, из которого видно, что литий-ионные аккумуляторы имеют на 39 % меньше стоимость владения, чем свинцово-кислотные аккумуляторы с регулирующим клапаном, несмотря на первоначальную разницу в цене. Анализ чувствительности показывает движущие факторы совокупной стоимости владения. В заключении рассматривается использование литий-ионных аккумуляторов для переоснащения старых и использования новых ИБП, а также влияние температуры на срок службы, продолжительность работы и охлаждение аккумулятора.

Введение

Литий-ионные аккумуляторы используются в промышленности для различных устройств¹ уже более 20 лет. Почему же их не используют повсеместно как аккумуляторы для статических² ИБП центров обработки данных? Ответ кроется в том, что элементы литий-ионных аккумуляторов не могли обеспечить поставщиков ИБП сбалансированной совокупностью цены, удельной энергии, мощности, безопасности и надежности.³ Однако развитие литий-ионной химии и технологии за последние 10 лет обеспечило поставщикам ИБП реалистичный выбор. Это развитие в большой степени обусловлено требованиями, установленными в электромобилестроении. На **Рисунке 1** показан пример литий-ионного аккумулятора для трехфазных устройств ИБП.

Рисунок 1

Модуль литий-ионного аккумулятора для трехфазных устройств ИБП (слева) и несколько модулей, подключенных в шкаф (справа)



Литий-ионные аккумуляторы имеют значительные преимущества перед свинцово-кислотными аккумуляторами с регулирующим клапаном, включая:⁴

- Меньшее число (а вероятно, полное отсутствие) замен аккумулятора, необходимое в течение срока службы ИБП, устраняет риск простоя из-за замены аккумулятора
- В три раза меньший вес при аналогичной запасаемой энергии
- До десяти раз больше циклов заряда-разряда в зависимости от химии, технологии, температуры и глубины разряда
- Приблизительно в четыре раза меньший саморазряд (т. е. медленный разряд аккумулятора, когда он не используется)
- Заряд быстрее в четыре и более раз – ключевое преимущество в случае с многочисленными перебоями энергии

В то же время литий-ионные аккумуляторы имеют два основных недостатка по сравнению со свинцово-кислотными аккумуляторами с регулирующим клапаном:

- Капитальные затраты на одинаковое количество энергии в два-три раза больше из-за более высокой стоимости изготовления и стоимости необходимой системы управления аккумулятором
- Более жесткие требования к транспортировке

Данная статья содержит краткое сравнение характеристик литий-ионных аккумуляторов и свинцово-кислотных аккумуляторов с регулирующим клапаном. Затем приведен анализ капитальных затрат, эксплуатационных затрат и совокупной стоимости владения для этих двух типов аккумуляторов. Рассмотрено применение литий-ионных аккумуляторов для переоснащения старых и использования новых статических устройств ИБП. И, наконец, приведено объяснение влияния температуры на срок службы, продолжительность работы и охлаждение аккумулятора.

¹ <http://www.sonyenergy-devices.co.jp/en/keyword/> (последний доступ 28.02.2016)

² Данная статья в особенности относится к статическим ИБП (например, с двойным и с дельта-преобразованием). Информация по этой теме содержится в информационной статье №1, [Различные типы Систем ИБП](#).

³ Обратите внимание, что термин “ячейка” относится к наименьшей структурной единице аккумулятора. Аккумуляторы состоят из двух и более ячеек, и они объединены в соответствии с конкретным применением, таким как использование с ИБП.

⁴ http://batteryuniversity.com/learn/article/whats_the_best_battery (последний доступ 28.02.2016)

Обзор литий-ионного аккумулятора

Все литий-ионные элементы обладают некоторыми общими характеристиками. Например, они все являются перезаряжаемыми, все используют электролит и у всех ионы лития движутся между электродами. Однако определенные характеристики зависят от химии и технологии. К химии относятся составляющие, которые приводят к химической реакции, заряжающей и разряжающей ячейку. Химия определяет напряжение ячейки. К технологии относятся прочие характеристики конструкции (т. е. толщина электрода, состав электролита, покрытия, присадки и т. д.), которые в значительной степени определяют количество энергии (Вт-ч), мощность (Вт), удельную энергию (Вт-ч/кг), удельную мощность (Вт/кг), ресурс, влияние температуры, стабильность и множество других характеристик.

Следующие разделы содержат краткий обзор некоторых ключевых характеристик литий-ионных аккумуляторов и их сравнение со свинцово-кислотными аккумуляторами с регулирующим клапаном в статических устройствах ИБП. Информационная статья 231 [Часто задаваемые вопросы по использованию литий-ионных аккумуляторов с ИБП](#) содержит более подробную информацию об этих характеристиках.

Оптимальная химия

Для устройств ИБП необходимы аккумуляторы, способные обеспечить большую мощность в течение 5–10 минут. Поэтому для устройств ИБП требуются литий-ионные аккумуляторы с такой химией и технологией, которые способны обеспечить подачу большого количества тока в течение короткого промежутка времени, поддерживая при этом безопасную внутреннюю температуру каждого элемента. По сравнению с химией свинцово-кислотных аккумуляторов химия литий-ионных обеспечивает более высокую энергию и мощность на единицу веса, которые обычно называют удельная энергия (Вт-ч/кг) и удельная мощность (Вт/кг).

Сравнение силовых и энергоемких элементов

Как указано выше, для устройств ИБП необходимы аккумуляторы, которые способны подать большое количество тока и мощности в течение 5-10 минут. С этой точки зрения ключевым различием между литий-ионными аккумуляторами и свинцово-кислотными аккумуляторами с регулирующим клапаном является энергоемкость, остающаяся после 5–10 минут работы.

- Силовой элемент спроектирован таким образом, чтобы обеспечить сравнительно большое количество мощности за короткий промежуток времени и использовать при этом почти всю энергоемкость аккумулятора. Например, силовое решение аккумулятора в устройствах ИБП может обеспечить 1-2 минуты работы при полной нагрузке, при этом разрядка энергоемкости аккумулятора составит 80 %.
- Энергоемкий элемент спроектирован таким образом, чтобы обеспечить относительно небольшое количество мощности в течение длительного периода времени. Энергетическое решение аккумулятора в устройствах ИБП может обеспечить такое же количество мощности в течение такого же промежутка времени (см. выше), но при этом израсходовать только 10-30 %⁵ энергоемкости аккумулятора.

Это, в основном, означает, что при применении аккумулятора с энергетическим решением для этого устройства необходимые параметры будут превышены (в части энергии), и с большой вероятностью будет обеспечено более длительное время работы, чем необходимо. В зависимости от соотношения цен на энергоемкий элемент и на силовой элемент может оказаться экономически выгодно использовать в устройстве ИБП аккумулятор с энергетическим решением, превышающим необходимые параметры, чем аккумулятор с правильно подобранным силовым решением. На **Рисунке 2** показано соотношение между энергией и мощностью для различных технологий накопления энергии вместе с соответствующим влиянием на время работы. Нисходящая кривая для каждой из линий представляет ограничение аккумулятора в части подачи его полной энергетической мощности за более короткие промежутки времени. Обратите внимание на относительное положение, как удельной энергии, так и удельной мощности свинцово-кислотных и литий-ионных аккумуляторов.

Основное заключение: литий-ионные аккумуляторы имеют два варианта исполнения – с силовыми элементами и с энергетическими элементами. В

Энергия и мощность

Энергия (измеряемая в Вт-ч) показывает, как долго мощность (измеряемая в Вт) поглощается нагрузкой. Нижеприведенный пример объясняет эту разницу.

Мощность аккумулятора (Вт) = вольты x амперы. Если система аккумулятора подает 100 вольт при 10 амперах, она может выдержать нагрузку в 1000 Вт.

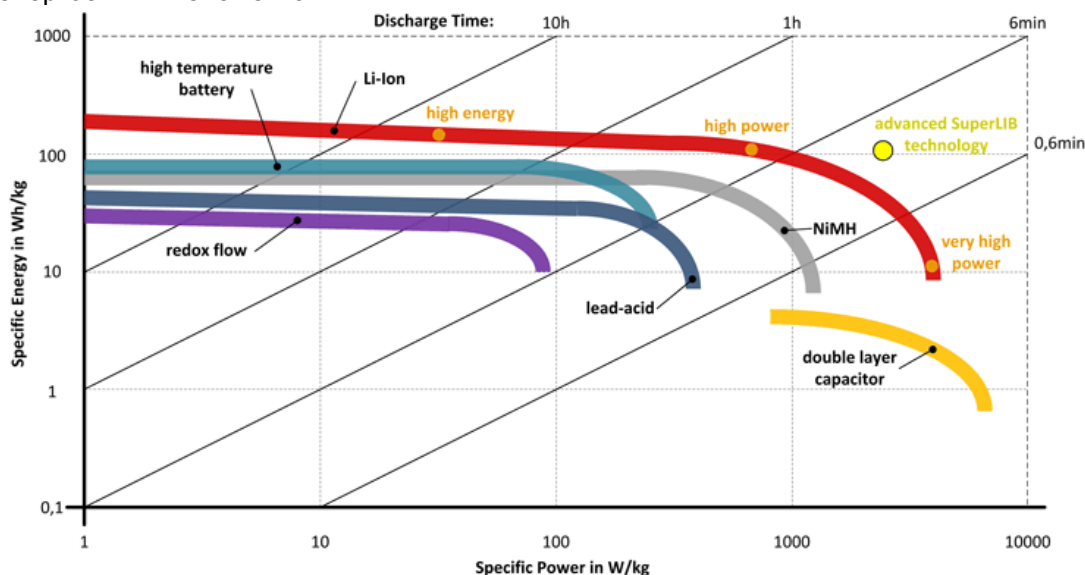
Энергия аккумулятора (Вт-ч) = мощность x часы. Если система аккумулятора подает нагрузку 1000 ватт в течение 6 минут (0,1 часа), то она подает 100 Вт-ч энергии.

⁵ Рисунок 7, http://www.altenergymag.com/content.php?post_type=1884 (последний доступ 28.02.2016)

то же время химия и технология свинцово-кислотных аккумуляторов с регулирующим клапаном ограничивает их конструкцию исключительно решением с энергоемкими элементами.

Рисунок 2

Схема, показывающая взаимосвязь между удельной энергией и удельной мощностью (т.н. Схема Рагоне)



Источник: <http://www.superlib.eu/index.php?spid=en&site=preview&id=020000>

Срок службы

Наиболее важный вопрос в части срока службы – сколько прослужит аккумулятор, прежде чем придется его заменить? Однако важно понимать различные параметры, используемые для измерения срока службы. Особое значение имеет **ресурс аккумулятора**. Это расчетное время работы аккумулятора до тех пор, пока он не достигнет 80% своей энергоемкости, что является типовым определением окончания срока службы аккумулятора. Ресурс предполагает работу аккумулятора в реальных условиях для определенного устройства и, как следствие, является крайне изменчивой величиной. В то же время **календарный срок службы** – это оценочное время, которое прослужит аккумулятор, если весь срок службы будет происходить непрерывная подзарядка малым током, не будет происходить перебоев в подаче питания, и будет сохраняться определенная температура, обычно 25 °C (77 °F). Ресурс свинцово-кислотных аккумуляторов с регулирующим клапаном находится в диапазоне 3–6 лет, в то время как ресурс литий-ионных аккумуляторов может составлять более 10 лет (результат ускоренного испытания на долговечность). Обратите внимание, что до того как появятся реальные данные по ресурсу для более новых литий-ионных аккумуляторов пройдет несколько лет, однако для некоторых литий-ионных аккумуляторов установлен срок службы до 10 лет, как страховка, необходимая из-за недостатка эксплуатационных данных.

Занимаемая площадь

Благодаря более высокой энергоемкости, литий-ионные аккумуляторы занимают гораздо меньшую площадь и имеют меньший объем, чем свинцово-кислотные аккумуляторы с регулирующим клапаном. Эта экономия пространства является особо важной при совместном размещении Центров Обработки Данных (ЦОД), а также для ЦОД с высокими затратами на размещение.

Масса

Благодаря более высокой энергоемкости, литий-ионные аккумуляторы не только занимают меньше площади, но и имеют более низкую массу по сравнению со свинцово-кислотными аккумуляторами с регулирующим клапаном. За счет более низкой массы снижается стоимость транспортирования.

Контроль аккумулятора

Системы контроля аккумулятора, как правило, идут в дополнение к традиционным свинцово-кислотными аккумуляторами с регулирующим клапаном. Некоторые операторы приобретают системы контроля аккумуляторов, чтобы продлить их срок службы. Литий-ионные аккумуляторы оснащены системой контроля по умолчанию, так как для них необходим полный контроль зарядки и разрядки, предотвращающий формирование небезопасных температур в литий-ионных элементах.

Безопасность

Безопасность является основным приоритетом, когда дело касается аккумуляторов, особенно в отношении литий-ионных. Важно помнить, что поставщики ИБП должны работать в тесном взаимодействии с зарекомендовавшими себя постав-

щиками литий-ионных аккумуляторов, чтобы найти наилучшую комбинацию химии, технологии, компоновки элементов и управления аккумуляторами для конкретных ИБП. См. информационную статью 231 [Часто задаваемые вопросы по использованию литий-ионных аккумуляторов с ИБП](#) для более подробной информации по опасностям.

Регламенты

Существует несколько требований, относящихся к транспортировке любых типов аккумуляторов, включая литий-ионные и свинцово-кислотные аккумуляторы с регулирующим клапаном. Эти требования транспортировки, как правило, более жесткие в части химии литий-ионных аккумуляторов из-за более высокой энергоемкости и более высокой активности некоторых химических составляющих.

Использование совокупной стоимости владения в качестве критерия набирает обороты для ЦОД, наравне с использованием прочих энергоэффективных современных технологий, например экономайзеров в системах охлаждения. Для литий-ионных аккумуляторов определенные химические решения и технологии силовых элементов обеспечивают привлекательную совокупную стоимость владения на период более 10-15 лет по сравнению со свинцово-кислотными аккумуляторами с регулирующим клапаном. Это нынешний типовой срок службы ИБП перед заменой, если потребуется.

Доступны некоторые исследования издержек, но они не слишком полезны по некоторым причинам:

- Они сфокусированы на исследовании электрических транспортных средств и установок с длительным циклом работы, для которых требуются энергоемкие, а не силовые элементы, идеально подходящие для устройств ИБП.
- Они сравнивают стоимость конкурирующих литий-ионных аккумуляторов друг с другом, а не со свинцово-кислотными аккумуляторами с регулирующим клапаном.
- В них не указываются конкретные химические решения и технологии литий-ионных аккумуляторов и технологии, определенные для устройств ИБП.
- Они акцентируют внимание на капитальных затратах, а не на совокупной стоимости владения.

Из-за недостатка исследований силовых элементов для устройств ИБП за основу были приняты данные, предоставленные изготовителями силовых элементов для двух конкретных семейств трехфазных ИБП: Symmetra MW и Galaxy. В следующих разделах приведен анализ капитальных затрат, эксплуатационных затрат и совокупной стоимости владения в течение 10 лет для устройства ИБП мощностью 1 МВт.

Допущения

Таблица 1 содержит характеристики аккумуляторов, относящиеся к данному анализу совокупной стоимости владения.

Характеристики аккумуляторов	VRLA	Li-ion
Химия	Свинцово-кислотный	LMO/NMC
Номинальная мощность	1 МВт	1 МВт
Автономная работа при 25 °C (77 °F)	6 минут	6 минут
Календарный срок службы при 25 °C (77 °F)	5 лет	17 лет
Ресурс аккумулятора при 25 °C (77 °F)	4 года	12 лет
Площадь, занимаемая аккумулятором	5,4 м ² (59 футов ²)	2,2 м ² (23 фута ²)
Масса аккумулятора	11 340 кг (25 000 фунтов)	2 767 кг (6100 фунтов)
Фиксированные потери от компенсационной зарядки (в виде % от номинальной емкости ИБП)	0,2 %	0,1 %
Стоимость материалов аккумулятора	0,06 \$/Вт	0,12 \$/Вт
Стоимость системы управления аккумулятором	Входит в стоимость аккумулятора	Входит в стоимость аккумулятора

Финансовый анализ

Таблица 1

Характеристики аккумуляторов, использованные при анализе совокупной стоимости владения

Таблица 2 содержит перечень допущений, использованных при проведении данного анализа.

Таблица 2

Допущения, использованные при анализе совокупной стоимости владения

Допущение	VRLA	Li-ion
Нагрузка ИБП	100 %	100 %
Ресурс ИБП	10 лет	10 лет
Эксплуатационная температура	25 °C (77 °F)	25 °C (77 °F)
Годы обновления аккумуляторов в течение срока службы ИБП	Годы 4 и 8	Не требуется
Затраты на электроэнергию	0,15 \$/кВт·ч	0,15 \$/кВт·ч
Ежемесячные затраты на аренду здания	32 \$/м ² (3 \$/фут ²)	32 \$/м ² (3 \$/фут ²)
Площадь помещения аккумуляторной (включая место для обслуживания)	18 м ² (196 футов ²)	9,5 м ² (102 фута ²)
Монтаж аккумулятора	0,012 \$/Вт	0,012 \$/Вт
Стоимость транспортирования аккумулятора на расстояние 322 км (200 миль)	0,55 \$/кВт	0,37 \$/кВт
Техническое обслуживание аккумулятора	10 %	1,5 %
На охлаждение уходит 0,33 кВт на каждый 1 кВт теплоотдачи	0,33 кВт/кВт	0,33 кВт/кВт
Стоимость капитала	5 %	5 %

Капитальные затраты

Первоначальные затраты на аккумулятор (год 0) включают затраты на материалы, монтаж и транспортирование. **Таблица 3** содержит разбивку капитальных затрат для обоих типов аккумуляторов.

Таблица 3

Разбивка капитальных затрат

Капитальные затраты	VRLA	Li-ion	Процентное изменение
Затраты на материалы аккумуляторов	60 000 \$	120 000 \$	Капитальные затраты на Li-ion на 100% больше, чем на VRLA
Затраты на монтаж	12 000 \$	12 000 \$	Капитальные затраты на Li-ion на 0% больше, чем на VRLA
Затраты на транспортирование	549 \$	366 \$	Капитальные затраты на Li-ion на 33 % меньше, чем на VRLA
ИТОГО:	72 549 \$	132 366 \$	Капитальные затраты на Li-ion на 82 % больше, чем на VRLA

Эксплуатационные затраты

Эксплуатационные затраты на аккумулятор начинаются с года 1 и продолжаются до года 10. Издержки на техническое обслуживание аккумулятора, аренду помещения и энергоресурсы имеют место каждый год, а издержки на обновление аккумулятора – в годы 4 и 8. **Таблица 4** содержит разбивку эксплуатационных затрат для обоих типов аккумуляторов.

Существует два типа потерь энергии от зарядки аккумулятора; фиксированные потери от компенсационной зарядки аккумулятора и кратковременные потери от разрядки или зарядки аккумулятора после перебоя в подаче питания. Энергетические затраты в данном анализе включают фиксированные потери при стационарном режиме зарядки, а также охлаждающей энергии, необходимой для отвода тепловой энергии этих потерь. Однако необходим более подробный анализ для лучшего понимания влияния кратковременных событий в работе аккумулятора на требования к охлаждению. Теплоемкость выбранного решения аккумулятора играет большую роль при определении интенсивности теплоотвода системы охлаждения, а также потребления охлаждающей энергии. Анализ совокупной стоимости владения, приведенный в данной

статье, будет дополнен влиянием кратковременных событий, как только этот анализ будет завершен. **Таблица 4** содержит разбивку эксплуатационных затрат для обоих типов аккумуляторов.

Таблица 4

Разбивка эксплуатационных затрат

Эксплуатационные затраты	VRLA	Li-ion	Процентное изменение
Техническое обслуживание аккумулятора	46 330 \$	13 899 \$	Эксплуатационные затраты на Li-ion на 70 % меньше, чем на VRLA
Затраты на аренду помещения	54 597 \$	28 368 \$	Эксплуатационные затраты на Li-ion на 48 % меньше, чем на VRLA
Энергетические затраты	26 989 \$	13 495 \$	Эксплуатационные затраты на Li-ion на 50 % меньше, чем на VRLA
Обновление аккумулятора	108 790 \$	0 \$	Эксплуатационные затраты на Li-ion на 100 % меньше, чем на VRLA
ИТОГО:	236 706 \$	55 762 \$	Эксплуатационные затраты на Li-ion на 76 % меньше, чем на VRLA

Совокупная стоимость владения

Совокупная стоимость владения за 10 лет учитывает капитальные и эксплуатационные затраты, приведенные выше. Совокупная стоимость владения за 10 лет для решения с литий-ионным аккумулятором на 39 % ниже, чем для решения со свинцово-кислотным аккумулятором с регулирующим клапаном. Приведенные в этом анализе финансовые потоки демонстрируют простую окупаемость в течение 3,4 лет, несмотря на более высокие капитальные затраты на литий-ионный аккумулятор в год 0. **Таблица 5** содержит разбивку совокупной стоимости владения для обоих типов аккумуляторов.

Таблица 5

Разбивка совокупной стоимости владения

Совокупная стоимость владения	VRLA	Li-ion	Процентное изменение
Капитальные затраты	72 549 \$	132 366 \$	Капитальные затраты на Li-ion на 82 % больше, чем на VRLA
Эксплуатационные затраты	236 706 \$	55 762 \$	Эксплуатационные затраты на Li-ion на 76 % меньше, чем на VRLA
ИТОГО:	309 255 \$	188 128 \$	Совокупная стоимость владения для Li-ion на 39 % меньше, чем на VRLA

Анализ чувствительности

Мы независимо изменяли 12 параметров, влияющих на расходы, чтобы проверить непостоянство и амплитуду изменений, оказываемых ими на совокупную стоимость владения. Например, мы изменили ресурс свинцово-кислотных аккумуляторов с регулирующим клапаном с 2 до 7 лет, что привело к изменению в экономии в части совокупной стоимости владения в диапазоне от 0,8 % до 15,5 %. На основании данного анализа чувствительности, факторами, имеющими наибольшее влияние на сравнение совокупной стоимости владения для литий-ионных аккумуляторов и свинцово-кислотных аккумуляторов с регулирующим клапаном, являются:

- Ресурс VRLA
- Ресурс ИБП
- VRLA \$/Вт
- Li-ion \$/Вт
- Площадь помещения аккумуляторной
- Техническое обслуживание VRLA
- Стоимость капитала

Важно отметить, что в то время как эти факторы могут независимо вызвать значительное изменение совокупной стоимости владения для обоих решений, комбинация нескольких факторов может повлиять на выбор того или иного варианта. В частности, ресурс свинцово-кислотных аккумуляторов с регулирующим клапаном, являющийся более коротким, чем ресурс литий-ионных аккумуляторов, в комбинации с ресурсом ИБП становится значительным рычагом. Например, 4-х летний ресурс свинцово-кислотного аккумулятора с регулирующим клапаном в комбинации с 8-ми летним ресурсом ИБП приводит

к однократному обновлению аккумулятора. Однако увеличение ресурса ИБП всего лишь на 2 года приведет к двукратному обновлению свинцово-кислотного аккумулятора с регулирующим клапаном, а это значительное изменение совокупной стоимости дохода в пользу литий-ионного аккумулятора.

Ценообразование аккумуляторов, очевидно, играет важную роль в данной модели совокупной стоимости владения, но фактор \$/Вт свинцово-кислотного аккумулятора с регулирующим клапаном является более важным, чем стоимость литий-ионного аккумулятора, т.к. количество обновлений аккумулятора умножает эффект более низкой или более высокой цены свинцово-кислотного аккумулятора с регулирующим клапаном. Фактически, любая составляющая затрат с измеримой ежегодной стоимостью играет большую роль при принятии решения о том, какой тип аккумулятора выбрать. Вот почему площадь помещения аккумуляторной и техническое обслуживание свинцово-кислотного аккумулятора с регулирующим клапаном (больше, чем для литий-ионного аккумулятора) являются важными параметрами совокупной стоимости владения. И, наконец, поскольку очевидно, что эти эксплуатационные финансовые потоки сильно влияют на совокупную стоимость владения, становится очевидным, что стоимость капитала может либо минимизировать финансовые потоки (например, 20 % нормы стоимости капитала), либо довести их до максимума (0 % нормы стоимости капитала), что увеличивает или уменьшает совокупную стоимость владения.

Для более детального рассмотрения чувствительности совокупной стоимости дохода см. TradeOff Tool 19, [.Калькулятор для сравнения литий-ионных аккумуляторов со свинцово-кислотными аккумуляторами с регулирующим клапаном.](#) Эта программа позволяет изменять различные исходные данные и смотреть, какой эффект они оказывают на совокупную стоимость владения двух типов аккумуляторов.

При выборе литий-ионных аккумуляторов для устройства ИБП важно учесть несколько факторов в зависимости от того, выполняете вы переоснащение аккумуляторного решения существующего ИБП или покупаете новый ИБП. Предполагается, что ожидаемый срок службы ИБП составляет около 10–15 лет, ресурс свинцово-кислотного аккумулятора с регулирующим клапаном – около 3–6 лет, а ресурс литий-ионного аккумулятора – 10 лет и более.

Существует три возможных сценария при выборе осуществления переоснащения свинцово-кислотных аккумуляторов с регулирующим клапаном существующего ИБП:

1. Начало срока эксплуатации ИБП
2. Приблизительно середина срока эксплуатации ИБП
3. Приблизительно конец срока эксплуатации ИБП

При **начальном сроке эксплуатации** ИБП, обычно менее 5 лет, может иметь смысл замена свинцово-кислотных аккумуляторов с регулирующим клапаном на литий-ионные, так как они с большой вероятностью достигнут окончания срока эксплуатации одновременно с ИБП.

При **середине срока эксплуатации** ИБП, обычно около 5–10 лет, имеет смысл обновить свинцово-кислотные аккумуляторы с регулирующим клапаном. Замена свинцово-кислотных аккумуляторов с регулирующим клапаном на литий-ионные на данном этапе может не иметь смысла с экономической точки зрения, т.к. срок эксплуатации литий-ионных аккумуляторов превысит оставшийся срок эксплуатации ИБП более чем на 5 лет. Однако, в связи со снижением цен на литий-ионные аккумуляторы в ближайшие годы экономические факторы могут все-таки сыграть в пользу замены свинцово-кислотных аккумуляторов с регулирующим клапаном на литий-ионные.

При **приближении конца срока эксплуатации** ИБП, обычно более 10 лет, может иметь смысл полностью заменить ИБП на новый, использующий литий-ионные аккумуляторы. Это решение зависит от соотношения затрат на сохранение и техническое обслуживание старого ИБП (т.е. контракты на обслуживание, запчасти, т. д.) и затрат на новое решение.

В случаях, когда рассматривается замена свинцово-кислотных аккумуляторов с регулирующим клапаном на литий-ионные, следует понимать, что эта замена займет время. Даже если литий-ионный аккумулятор будет иметь такое же номинальное напряжение, как существующий свинцово-кислотный аккумулятор с регулирующим клапаном, может потребоваться обновление программного обеспечения и аппаратной части ИБП. Это, помимо прочего, обусловлено тем, что характеристики зарядки аккумулятора могут измениться, формула продолжительности работы может отличаться и оценка времени работы может оказаться некорректной. Кроме того, поставщику может потребоваться интегрировать систему контроля аккумуляторов в ИБП. Поставщик ИБП должен учесть эти и другие факторы прежде, чем предлагать решение с литий-ионными аккумуляторами для конкретных моделей ИБП.

Переоснащение и новые устройства ИБП

Покупка нового ИБП является самым простым сценарием при условии, что поставщик эффективно интегрировал литий-ионную технологию в ИБП. Интеграция ИБП и системы управления литий-ионными аккумуляторами значительно зависит от работы этой системы, которая является различной от поставщика к поставщику. Со временем возникнут стандарты, устанавливающие соответствие ИБП и систем управления аккумуляторами разных поставщиков. Пример ИБП, использующего литий-ионные аккумуляторы, показан на **Рисунке 3**.



Рисунок 3

Пример ИБП с литий-ионными аккумуляторами – Galaxy VX от Schneider Electric

Влияние температуры

Существует множество причин влияния температуры на аккумуляторы, и некоторые из этих причин зависят от конкретной химии аккумулятора. Но в конечном счете существует три важных параметра, относящихся к температуре. В порядке приоритетности это:

- Ресурс аккумулятора
- Время работы аккумулятора
- Энергия охлаждения

Ресурс аккумулятора

В научной литературе доказано, что влияние температуры на ресурс большинства компонентов и аккумуляторов не одинаково. Общее правило для аккумуляторов (как для свинцово-кислотных аккумуляторов с регулирующим клапаном, так и для литий-ионных) – ресурс аккумулятора сокращается на 50% при каждом повышении температуры окружающей среды на 8-10°C (14-18°F).⁶ Исходя из того, что ресурс свинцово-кислотных аккумуляторов с регулирующим клапаном составляет 3-6 лет, а литий-ионных – 10 лет, повышение температуры приведет к более частому обновлению свинцово-кислотных аккумуляторов с регулирующим клапаном по сравнению с литий-ионными в течение срока службы ИБП. Это влияние определено количественно в вышеприведенном анализе совокупной стоимости владения. См. информационную статью 39, [Технология аккумуляторов для ЦОД и сетевых помещений: Надежность и безопасность свинцово-кислотных аккумуляторов с регулирующим клапаном \(VRLA\)](#) для более подробной информации по сроку службы свинцово-кислотных аккумуляторов с регулирующим клапаном.

⁶ http://www.cdtechno.com/pdf/ref/41_7329_0512.pdf (последний доступ 02.03.2016)

Продолжительность работы

Продолжительность работы относится к аккумулятору, подающему определенное количество тока или ампер (А) под определенным напряжением (В). При умножении этих параметров получаем **мощность** (Вт) для поддержки ИТ нагрузки.

$$V \times A = \text{ватт (Вт)}$$

Теперь добавим к этой формуле время и получим **энергию**, измеряемую в ватт-часах (Вт-ч).

$$V \times A \times \text{время} = \text{Вт-ч}$$

По мере разрядки аккумулятора его выходное напряжение уменьшается, а это означает, что требуется больше тока для поддержания **постоянной мощности** на нагрузку. Что же происходит с продолжительностью работы при увеличении температуры? По мере увеличения температуры внутреннее сопротивление уменьшается как у свинцово-кислотных аккумуляторов с регулирующим клапаном, так и у литий-ионных. Более низкое сопротивление означает меньше потерь, что в свою очередь означает, что выходное напряжение не падает так быстро, т.е. при более высокой температуре можно вытянуть из аккумулятора меньше ампер в минуту, чем при более низкой температуре. Так почему бы не использовать аккумуляторы при более высоких температурах, чтобы получить большую энергоемкость и продолжительность работы? Потому что ресурс аккумулятора уменьшится. Обратите внимание, что взаимосвязь температуры и сопротивления распространяется и на зарядку аккумулятора.

Как оговаривалось ранее, существует два типа литий-ионных элементов: силовые и энергоемкие. Они ведут себя по-разному, т.к. сопротивление силовых элементов меньше, чем сопротивление энергоемких. Таким образом, при одинаковом времени нахождения на аккумуляторе, энергоемкий элемент будет иметь более высокую внутреннюю температуру, чем силовой элемент. При разрядке энергоемких элементов их внутренняя температура может увеличиваться на 30 °C (54 °F). Это не будет проблемой, если температура в помещении аккумуляторной составляет 25 °C (77 °F), но если температура в помещении составляет 40 °C (104 °F), то повышение температуры на 30 °C (54 °F) может привести к отключению аккумулятора системой контроля для предотвращения неисправности. Несмотря на такое поведение при относительно высоких температурах окружающей среды, литий-ионные аккумуляторы гораздо лучше работают в условиях повышенной температуры, чем свинцово-кислотные аккумуляторы с регулирующим клапаном, благодаря более длительному сроку службы (ресурсу). Следует отметить, что для свинцово-кислотных аккумуляторов с регулирующим клапаном повышение температуры, как правило, должно быть ограничено повышением на 10 °C (18 °F).

Охлаждение

При выборе параметров системы охлаждения для обоих рассматриваемых типов аккумуляторов используется два подхода: подбор параметров только для потерь установившегося режима (т.е. при компенсационной зарядке) или для тепловой энергии, выделяемой во время разрядки (кратковременные потери). Кратковременные потери значительно превышают потери установившегося режима в части мощности (кВт), но общее количество тепловой энергии (кВт-ч) при условии продолжительности работы 6 минут и 20 перебоев в подаче питания в год приблизительно в 100 раз меньше, чем тепловая энергия, выделенная за счет компенсационной зарядки в течение года.

При разрядке любой из двух рассматриваемых систем аккумуляторов, температура помещения аккумуляторной вырастет на определенное количество градусов. Если параметры системы охлаждения подобраны для нагрузки установившегося режима, восстановление температуры в помещении до уставки займет больше времени (порядка нескольких часов). Как эта временная повышенная температура повлияет на систему аккумуляторов? Очевидно, что влияние на литий-ионные аккумуляторы минимально по сравнению с влиянием на свинцово-кислотные аккумуляторы с регулирующим клапаном.

Исходя из имеющихся на сегодняшний день знаний, параметры системы охлаждения литий-ионных аккумуляторов следует подбирать для установившегося режима работы. Это позволит сократить капитальные издержки на более высокомоощную систему охлаждения и увеличенное потребление энергии, связанные с работой более крупной системы охлаждения (при условии более

⁷ http://www.cdtechno.com/pdf/ref/41_7944_0712.pdf (последний доступ 02.03.2016)

высоких фиксированных потерь). И наконец, благодаря относительно длительному сроку службы литий-ионных аккумуляторов, операторы ЦОД имеют возможность выбора из нескольких вариантов. Они могут увеличить температуру помещения аккумуляторной, чтобы сэкономить энергию (или полностью убрать систему охлаждения) и полностью положиться на гарантийные условия аккумулятора в части обеспечения ресурса ИБП без каких-либо капитальных затрат. Или же они могут охладить помещение до 25 °C (77 °F), подобрать параметры для установившегося режима и понести минимальные ежегодные расходы на энергоресурсы.

Для свинцово-кислотных аккумуляторов с регулирующим клапаном ситуация обстоит иначе из-за значительно более короткого срока службы. Исходя из модели, представленной в данной статье, если есть возможность увеличить срок службы свинцово-кислотного аккумулятора с регулирующим клапаном на один год, уменьшив температуру помещения и увеличив производительность системы охлаждения, то дополнительные эксплуатационные затраты на энергию и систему охлаждения будут оправданы.

Можно с уверенностью сказать, что цены на литий-ионные аккумуляторы продолжают снижаться, на рынке появятся новые химические решения и технологии, а уже существующие будут улучшены. Учитывая вышесказанное и анализ, приведенный в данной статье, литий-ионные системы аккумуляторов для устройств ИБП для ЦОД (и для устройств ИБП в целом) имеют убедительные преимущества. Несмотря на то, что цены на некоторые литий-ионные решения являются слишком высокими для перехода на них со свинцово-кислотных аккумуляторов с регулирующим клапаном, некоторые из них демонстрируют положительную совокупную стоимость владения за 10 лет с окупаемостью менее чем за 4 года.

Заключение

Об авторах

Виктор Авелар является директором и ведущим аналитиком научно-исследовательского центра по ЦОД компании Schneider Electric. Он занимается проектированием центров обработки данных и исследованиями условий их эксплуатации. Кроме того, он консультирует клиентов по вопросам оценки рисков и методов проектирования, позволяющих повышать эксплуатационную надежность и эффективность работы ЦОД. Виктор получил степень бакалавра в области машиностроения в политехническом институте Ренсселера и степень MBA в Бабсон-колледже. Является членом AFCOM.

Мартин Захо является главным инженером по технологиям аккумулирования энергии компании Schneider Electric в части безопасных источников питания и ИТ бизнеса. Получил степень бакалавра в области системотехники ЭВМ в Университете Южной Дании. Начал работать в компании Schneider Electric в 2000 году (в то время компания называлась American Power Conversion) с водородными топливными элементами. Через три года занялся программно-логическим управлением и программированием ПЛИС для продуктовой линейки Symmetra. Участвовал во всех разработках технологий аккумулирования энергии с 2008 года, уделяя особое внимание аккумулированию энергии для крупных трехфазных ИБП. Основные связанные технологии включали: свинцово-кислотные аккумуляторы, ультраконденсаторы, маховики и различные технологии на основе лития. Является членом Комитета Дании по Стандартизации в части аккумулирования энергии.

⁸ Это предполагает, что гарантийные условия позволяют эксплуатацию при более высоких температурах и не рассчитывают пропорционально затраты на новую систему аккумуляторов.



[Основные типы ИБП](#)
Информационная статья № 1



[Технология аккумуляторов для ЦОД и сетевых помещений:
варианты свинцово-кислотных аккумуляторов](#)
Информационная статья № 30



[Технология аккумуляторов для ЦОД и сетевых помещений:
Надежность и безопасность свинцово-кислотных аккумуляторов с регулиру-
ющим клапаном \(VRLA\)](#)
Информационная статья № 39



[Срок службы свинцово-кислотных аккумуляторов: Термины и определения](#)
Информационная статья № 230



[Часто задаваемые вопросы по использованию литий-ионных аккумуляторов
с ИБП](#)
Информационная статья № 231



[Библиотека информационных статей APC](#)

whitepapers.apc.com



[Калькулятор для сравнения литий-ионных аккумуляторов со свинцово-
кислотными аккумуляторами с регулирующим клапаном](#)
TradeOff Tool 19



[Инструментарий TradeOff Tools™](#)

tools.apc.com



Обратная связь

Отклики и комментарии к настоящей статье просьба адресовать

Data Center Science Center
dcsc@schneider-electric.com

С вопросами по конкретным проектам заказчикам следует

обращаться к закрепленным за ними представителям Schneider Electric
(необходимые сведения — на www.apc.com/support/contact/index.cfm).