

# Типы аккумуляторов для однофазных систем ИБП: сравнение свинцово-кислотных аккумуляторов с клапанным регулированием (VRLA) с литий-ионными аккумуляторами (Li-Ion)

## Информационная статья № 266

Редакция 0

Авторы: Виктор Авелар  
Мартин Захо

### Аннотация

За последние несколько лет цены на литий-ионные аккумуляторы снизились, благодаря чему становится целесообразным их использование с ИБП. В этом документе представлен краткий обзор литий-ионных аккумуляторов, их сравнение со свинцово-кислотными аналогами с клапанным регулированием при использовании с однофазными ИБП. В статье также дан анализ полной стоимости владения (ПСВ) в течение 10 лет, из которого видно, что литий-ионные аккумуляторы имеют на 53 % меньшую стоимость владения, чем свинцово-кислотные аккумуляторы с клапанным регулированием, несмотря на первоначальную разницу в цене. В анализе чувствительности приведены основные параметры, влияющие на ПСВ.

## Введение

Литий-ионные аккумуляторы используются в промышленности для различных устройств уже более 20 лет<sup>1</sup>. Почему же они не применяются повсеместно как аккумуляторы для однофазных ИБП? Дело в том, что элементы литий-ионных аккумуляторов<sup>2</sup> не соответствуют требованиям производителей источников бесперебойного питания по соотношению цены, удельной энергии, мощности, безопасности и надежности.

Однако развитие литий-ионных технологий за последние 10 лет позволило улучшить характеристики этих аккумуляторов, что может заинтересовать производителей ИБП. Это развитие в большой степени обусловлено новыми изысканиями и разработками в электромобилестроении. На рисунке 1 показан пример литий-ионного аккумулятора для однофазных ИБП. Модуль ИБП установлен поверх модуля литий-ионного аккумулятора.

**Рисунок 1**

ИБП APC SMART-UPS (сверху)  
и внешний литий-ионный  
аккумулятор (снизу)



Литий-ионные аккумуляторы имеют значительные преимущества перед свинцово-кислотными аналогами:

- Длительный срок службы аккумуляторов с большой вероятностью отсутствия его замены в течение срока службы ИБП, что устраняет риск простоев
- В три раза меньшая масса при аналогичной емкости
- До десяти раз больше циклов разряда в зависимости от химического состава, технологии, температуры и глубины разряда
- Приблизительно в четыре раза медленнее происходит саморазрядка неиспользуемого аккумулятора
- Зарядка выполняется быстрее в четыре и более раз, что является ключевым преимуществом при регулярных перебоях в электроснабжении

Однако, литий-ионные аккумуляторы имеют два основных недостатка по сравнению со свинцово-кислотными батареями:

<sup>1</sup> <http://www.sonyenergy-devices.co.jp/en/keyword/>

<sup>2</sup> Обратите внимание на то, что термин «элемент» обозначает наименьшую структурную единицу аккумулятора. Аккумуляторы состоят из двух и более элементов, которые объединяются в соответствии с конкретным применением, таким как использование с ИБП.

<sup>3</sup> [http://batteryuniversity.com/learn/article/whats\\_the\\_best\\_battery](http://batteryuniversity.com/learn/article/whats_the_best_battery)

- Капитальные вложения при одинаковой мощности в два-три раза больше из-за более высокой стоимости производства и системы управления аккумулятором
- Более строгие требования к транспортировке

Данная статья содержит краткое сравнение характеристик литий-ионных и свинцово-кислотных аккумуляторов, а также в ней приведен анализ капитальных вложений, эксплуатационных издержек и полной стоимости владения (ПСВ) для этих двух типов аккумуляторов.

Следующие разделы содержат краткий обзор некоторых ключевых характеристик литий-ионных аккумуляторов.

## Обзор литий-ионного аккумулятора

### Срок службы

Наиболее важный вопрос по сроку службы – сколько прослужит аккумулятор, прежде чем придется его заменить? Однако важно понимать различные параметры, используемые поставщиками для измерения срока службы. Особое значение имеет **эксплуатационный ресурс**. Это расчетное время работы аккумулятора до тех пор, пока он не достигнет 70-80 % своей энергоемкости, что является типовым определением окончания срока службы аккумулятора. Эксплуатационный ресурс предполагает работу аккумулятора в реальных условиях с определенным устройством, а значит, 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, в подаче питания не будет перебоев и будет сохраняться определенная температура, обычно 25 °С. Эксплуатационный ресурс свинцово-кислотных аккумуляторов с клапанным регулированием составляет 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 появления реальных данных по эксплуатационному ресурсу для более новых литий-ионных аккумуляторов пройдет несколько лет. Однако на некоторые литий-ионные аккумуляторы устанавливается гарантия до 10 лет в качестве страховки из-за недостатка эксплуатационных данных.

### Температура

При повышении температуры календарный срок службы и циклический ресурс свинцово-кислотных и литий-ионных аккумуляторов снижаются. Однако, как правило, эксплуатационный ресурс литий-ионных аккумуляторов менее подвержен влиянию высоких температур, нежели ресурс свинцово-кислотных аккумуляторов. Многие литий-ионные аккумуляторы, используемые в ИБП, предназначены для более высокой средней температуры (например, 40 °С) и могут обеспечить указанный эксплуатационный ресурс при этих более высокой температуре.

### Занимаемая площадь

Благодаря более высокой энергоемкости литий-ионные аккумуляторы занимают гораздо меньшую площадь и имеют меньший объем, чем свинцово-кислотные аккумуляторы с клапанным регулированием. Эта экономия пространства является особо важной для применений, требующих более длительного времени автономной работы с более компактным внешним литий-ионным аккумулятором по сравнению с внешним свинцово-кислотным аналогами.

### Масса

Благодаря более высокому удельному потреблению энергии литий-ионные аккумуляторы легче по сравнению со свинцово-кислотными. Это облегчает работу с внешними аккумуляторами во время их установки или замены.

### Мониторинг аккумулятора

Системы управления аккумуляторами (или элементами) не являются частью решения свинцово-кислотных батарей для однофазных ИБП, поскольку их элементы не являются управляемыми. Литий-ионные аккумуляторы оснащены системой управления по умолчанию, так как для них требуются выравнивание плотности электролита и функции безопасности, которые увеличивают производительность и срок службы системы.

### Безопасность

Безопасность является основным критерием, когда дело касается аккумуляторов. Важно помнить, что поставщики ИБП должны работать в тесном взаимодействии с зарекомендовавшими себя поставщиками литий-ионных аккумуляторов, чтобы найти наилучшую комбинацию химических компонентов, технологии, компоновки элементов и управления аккумуляторами для конкретных ИБП.

Все типы аккумуляторов сохраняют химическую энергию, поэтому при неправильном обращении с аккумуляторами (например, выбрасывании в огонь) или их избыточном заряде существует возможность выделения опасных веществ или воспламенения. Литий-ионные аккумуляторы считаются более пожароопасными вследствие зарегистрированных случаев возгорания, а также из-за их гораздо более высокой удельной энергии в сочетании с большей чувствительностью к избыточному заряду. При неправильном управлении литий-ионные аккумуляторы будут быстрее достигать состояния «теплового разгона», поскольку имеют более низкое сопротивление элементов и более высокую энергоемкость по сравнению со свинцово-кислотными аккумуляторами.

Однако за последние годы были достигнуты значительные успехи в повышении их безопасности, а также сопоставимости с другими широко используемыми типами аккумуляторов по уровню безопасности. Изменения в химическом составе и усовершенствование упаковки элементов сделали их более стабильными. Производственные процессы стали более продуманными, а используемые материалы – более долговечными. Схемы управления аккумуляторами, прошедшие все необходимые испытания и проверенные на практике, помогают избежать избыточного заряда или перегрева литий-ионных аккумуляторов. Широкое использование данного типа батарей в бесчисленном количестве портативных устройств, смартфонов и электромобилей является прямым доказательством их высокого уровня безопасности.

Поскольку литий-ионные технологии гораздо более чувствительны к заряду или разряду, все они включают систему управления аккумуляторами. Эта система состоит из микропроцессоров, датчиков, переключателей и связанных с ними цепей. Она постоянно контролирует температуру батареи на уровне ее элементов, уровень заряда и его скорость, чтобы обеспечить защиту от коротких замыканий и избыточного заряда. Эта система также участвует в защите элементов от повреждений путем предотвращения слишком низкого напряжения при разряде. Система управления аккумуляторами предоставляет ИБП и пользователю точную информацию о состоянии аккумулятора, работоспособности и продолжительности автономной работы.

### Требования к транспортировке

Существует несколько требований, относящихся к транспортировке любых типов аккумуляторов, включая литий-ионные и свинцово-кислотные. Они, как правило, более жесткие в отношении последних из-за их более высокой энергоемкости и неустойчивости некоторых химических составляющих.

Несмотря на то, что требования могут варьироваться в зависимости от региона, ориентиром для понимания ограничений к воздушной перевозке грузов являются «Правила для опасных грузов» (DGR)<sup>4</sup> Международной ассоциации воздушного транспорта (IATA), в которых приводятся нормативы по размеру, массе и количеству. Транспортировка литий-ионных аккумуляторов подразделяется на транспортировку опасных материалов, относящихся и не относящихся к классу 9<sup>5</sup>. Не относятся к классу 9 аккумуляторы небольшого размера, перевозимые в малом количестве. Относятся к классу 9 – больших размеров, перевозимые в большом количестве. Маркировка, упаковка и любые специальные правила обращения описываются для каждого класса.

Важно помнить, что определенные требования и ограничения имеются для аккумуляторов всех типов. Например, аккумуляторы, встроенные в оборудование, как правило, должны отгружаться отключенными. Хотя все это может показаться обременительным для конечных пользователей или торговых посредников, именно производитель системы обычно берет на себя ответственность за обеспечение соответствия требованиям посредством надлежащего проектирования, сертификации, маркировки, документации пользователя и упаковки.

<sup>4</sup> <http://www.iata.org/publications/dgr/Pages/index.aspx>

<sup>5</sup> [http://batteryuniversity.com/learn/article/shipping\\_lithium\\_based\\_batteries\\_by\\_air](http://batteryuniversity.com/learn/article/shipping_lithium_based_batteries_by_air) (последний доступ 26.02.2016)

## Утилизация

Литий-ионные аккумуляторы могут содержать небольшое количество тяжелых металлов, никеля или кобальта, в то время как их содержание в свинцово-кислотных аккумуляторах намного выше (к примеру, свинца). Правительство США не считает литий-ионные аккумуляторы опасными и допускает их безопасное нахождение на свалках. Литий-ионные аккумуляторы не содержат ртути, свинца, кадмия или любых других опасных элементов.

Литий-ионные и свинцово-кислотные аккумуляторы одинаково пригодны для утилизации. Однако в настоящее время в большинстве регионов мира намного легче подвергаются переработке свинцово-кислотные аккумуляторы, нежели более габаритные литий-ионные, используемые в ИБП и электромобилях. Существует множество перерабатывающих установок для литий-ионных аккумуляторов меньшего размера. Тем не менее, на момент написания данной статьи аккумуляторы самого маленького формата просто складывают, а затем отправляют на измельчение и сжигание, хотя некоторые материалы можно было бы утилизировать. Большая часть компонентов оказывается на свалках. С финансовой точки зрения, переработка литий-ионных аккумуляторов с целью восстановления крайне малого количества лития, кобальта (если используется) и других более распространенных, но менее ценных металлов (алюминия, никеля и т. д.) не стоит затраченных усилий. Продолжаются исследования в части улучшения экономических показателей переработки; при этом правительства начинают поощрять, стимулировать или прямо требовать сбора и надлежащей переработки аккумуляторов.

Использование полной стоимости владения (ПСВ) в качестве критерия набирает обороты для ИТ (к примеру, техническое обеспечение ИБП). Для литий-ионных аккумуляторов определенные химические решения и технологии силовых элементов обеспечивают привлекательную ПСВ на период более 10 лет по сравнению со свинцово-кислотными аккумуляторами с клапанной регулировкой. Сегодня это типовой срок службы ИБП перед заменой, если таковая потребуется.

## Допущения

**Таблица 1.** Характеристики аккумуляторов, принимаемые во внимание при анализе ПСВ

Характеристики аккумуляторов	VRLA	Li-Ion
Химический состав	Свинцово-кислотный	NMC
Номинальная мощность	1,5 кВА	1,5 кВА
Автономная работа при 25 °C	22 минуты	19 минут
Эксплуатационный ресурс при 25 °C	4 года	10 лет

**Таблица 1**

*Характеристики аккумуляторов, принимаемые во внимание при анализе ПСВ*

## Финансовый анализ

**Таблица 2.** Перечень параметров, учитываемых при проведении данного анализа.

Допущение	VRLA	Li-Ion
Нагрузка ИБП	1350 Вт	1350 Вт
Эксплуатационный ресурс ИБП	10 лет	10 лет
Рабочая температура	25 °C	25 °C
Годы замены аккумуляторов в течение срока службы ИБП	4 и 8	Не требуется
Стоимость внешнего аккумулятора для требуемого времени автономной работы	730 \$*	1200 \$
Затраты на замену встроенного и внешнего аккумулятора для требуемого времени автономной работы	840 \$/ замена	-
Оплата труда при замене аккумулятора	200 \$ / замена	Не требуется

**Таблица 2**

Параметры, учитываемые при анализе ПСВ

\* Только для стоимости внешнего аккумулятора системы ИБП VRLA в целях соответствия требуемому времени автономной работы. Затраты на встроенный аккумулятор системы ИБП VRLA в этом расчете не учитывались, т. к. использование ИБП VRLA без встроенных свинцово-кислотных аккумуляторов не представляется возможным.

#### Капитальные вложения

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

**Таблица 3**

Структура капитальных вложений

Капитальные вложения	VRLA	Li-Ion	% изменений
Стоимость материалов аккумулятора	730 \$	1200 \$	На Li-Ion на 64 % больше, чем на VRLA
Стоимость монтажа	200 \$	200 \$	Одинаковые затраты
<b>ИТОГО</b>	<b>930 \$</b>	<b>1400 \$</b>	<b>На Li-Ion на 51 % больше, чем на VRLA</b>

#### Эксплуатационные издержки

Эксплуатационные издержки начинаются с первого года и продолжаются до десятого года использования аккумулятора. При эксплуатации однофазных ИБП основным значимым вложением является замена аккумулятора. **Таблица 4.** Структура эксплуатационных издержек для обоих типов аккумуляторов.

**Таблица 4**

Структура эксплуатационных издержек

Эксплуатационные издержки	VRLA	Li-Ion	% изменений
Затраты на замену аккумулятора через 4 года	840 \$	0 \$	На Li-Ion на 100 % меньше, чем на VRLA
Оплата труда при замене аккумулятора через 4 года	200 \$	0 \$	На Li-Ion на 100 % меньше, чем на VRLA
Затраты на замену аккумулятора через 8 лет	840 \$	0 \$	На Li-Ion на 100 % меньше, чем на VRLA
Оплата труда при замене аккумулятора через 8 лет	200 \$	0 \$	На Li-Ion на 100 % меньше, чем на VRLA
<b>ИТОГО</b>	<b>2080 \$</b>	<b>0 \$</b>	<b>На Li-Ion на 100 % меньше, чем на VRLA</b>

## ПСВ

ПСВ за 10 лет учитывает капитальные вложения и эксплуатационные издержки, приведенные выше. ПСВ за 10 лет для решения с литий-ионным аккумулятором на 53 % ниже, чем для решения со свинцово-кислотным аккумулятором с клапанным регулированием. **Таблица 5.** Структура ПСВ для обоих типов аккумуляторов.

**Таблица 5**

Структура ПСВ

ПСВ	VRLA	Li-Ion	% изменений
Капитальные вложения	930 \$	1400 \$	На Li-Ion на 51 % больше, чем на VRLA
Эксплуатационные издержки	2080 \$	0 \$	На Li-Ion на 100 % меньше, чем на VRLA
<b>ИТОГО</b>	<b>3010 \$</b>	<b>1400 \$</b>	<b>На Li-Ion на 53 % меньше, чем на VRLA</b>

## Анализ чувствительности

Мы независимо изменяли несколько параметров, влияющих на расходы, чтобы проверить непостоянство и амплитуду изменений, оказываемых ими на ПСВ. Например, мы изменили эксплуатационный ресурс свинцово-кислотных аккумуляторов с клапанным регулированием с 3 до 7 лет, что привело к уменьшению ПСВ от 29 % (1 замена свинцово-кислотного аккумулятора с клапанным регулированием) до 65 % (3 замены свинцово-кислотного аккумулятора с клапанным регулированием).

Двумя основными параметрами, влияющими на периодичность замены свинцово-кислотных аккумуляторов с клапанным регулированием, являются температура и цикл заряда-разряда.

На основании данного анализа чувствительности факторами, имеющими наибольшее влияние на сравнение ПСВ для литий-ионных аккумуляторов и свинцово-кислотных аккумуляторов с клапанным регулированием, являются:

- Эксплуатационный ресурс VRLA
- Эксплуатационный ресурс ИБП

Важно отметить, что в то время как эти факторы могут независимо вызвать значительное изменение ПСВ для обоих решений, комбинация нескольких факторов может повлиять на выбор того или иного варианта. В частности, эксплуатационный ресурс свинцово-кислотных аккумуляторов с клапанным регулированием, являющийся более коротким, чем ресурс литий-ионных аккумуляторов, в комбинации с эксплуатационным ресурсом ИБП становится значительным рычагом. К примеру, 4-летний эксплуатационный ресурс свинцово-кислотного аккумулятора с клапанным регулированием в комбинации с 8-летним эксплуатационным ресурсом ИБП приводит к однократному обновлению аккумулятора. Однако увеличение эксплуатационного ресурса ИБП всего лишь на 2 года приведет к двукратному обновлению свинцово-кислотного аккумулятора, а это – значительное изменение ПСВ в пользу литий-ионного аналога.

Капитальные вложения, рассчитанные в рамках этой модели, получены с учетом дополнительной внешней батареи, используемой в системе ИБП VRLA, в целях соответствия времени автономной работы по умолчанию, обеспечиваемого литий-ионным аккумулятором для сравнения.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Если стандартное время автономной работы типовой системы ИБП VRLA (5 минут) сравнить со стандартным временем автономной работы системы ИБП Li-Ion (19 минут), значение ПСВ будет в пользу системы ИБП VRLA.

## Заключение

Можно с уверенностью сказать, что цены на литий-ионные аккумуляторы продолжают снижаться, на рынке появляются новые химические решения и технологии, а уже существующие модернизируются. Учитывая вышесказанное и анализ, приведенный в данной статье, литий-ионные системы аккумуляторов для однофазных устройств ИБП имеют убедительные преимущества.

Несмотря на то, что цены на некоторые литий-ионные решения являются слишком высокими для перехода на них со свинцово-кислотных аккумуляторов, некоторые из них демонстрируют положительную ПСВ в течение 10 лет.



## Об авторах

**Виктор Авелар (Victor Avelar)** является директором Научно-исследовательского центра по ЦОДам компании Schneider Electric. Отвечает за исследования в области проектирования и эксплуатации ЦОДов, консультирует заказчиков по подходам к оценке рисков и проектированию, обеспечивающим повышение эксплуатационной готовности и эффективности в среде центра обработки данных. Получил степени бакалавра в области проектирования механических систем в Ренсселеровском политехническом институте и МДА в Бэбсоновском колледже. Член AFCCOM и Американского общества качества (ASQ).

**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 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: свинцово-кислотные аккумуляторы, ультраконденсаторы, маховики и различные технологии на основе лития. Является членом Комитета Дании по Стандартизации в области аккумулирования энергии.



## Дополнительные материалы



[Различные типы систем ИБП](#)  
Информационная статья № 1



[Технология аккумуляторов для ЦОДов и серверных: варианты свинцово-кислотных аккумуляторов](#)  
Информационная статья № 30



[Технология аккумуляторов для ЦОДов и серверных: надежность и безопасность свинцово-кислотных аккумуляторов с клапанным регулированием \(VRLA\)](#)  
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



[Смотреть все информационные статьи](#)  
[whitepapers.apc.com](http://whitepapers.apc.com)



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



[Смотреть все инструменты TradeOff Tools™](#)  
[tools.apc.com](http://tools.apc.com)



## Обратная связь

Отзывы и комментарии к этой статье вы можете отправлять в Научно-исследовательский центр по ЦОДам по адресу:

[dcsc@schneider-electric.com](mailto:dcsc@schneider-electric.com)

Обратиться к представителям компании Schneider Electric с вопросами по конкретным проектам можно на сайте:

[www.apc.com/support/contact/index.cfm](http://www.apc.com/support/contact/index.cfm)