

# ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 621.316

## РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ НА ЛИТИЙ-ИОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

**Дубовсков Константин Юрьевич**, студент, направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, Оренбургский государственный университет, Оренбург  
e-mail: kdubovskov@mail.ru

**Гребенщиков Александр Михайлович**, студент, направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, Оренбургский государственный университет, Оренбург  
e-mail: cc90518@mail.ru

**Карагодин Никита Валерьевич**, студент, направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, Оренбургский государственный университет, Оренбург  
e-mail: karagodin19062002@gmail.com

Научный руководитель: **Семёнова Наталья Геннадьевна**, доктор педагогических наук, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры автоматизированного электропривода, электромеханики и электротехники, Оренбургский государственный университет, Оренбург  
e-mail: ng\_sem@mail.ru

***Аннотация.** В полевых ситуациях, когда человек находится далеко от линий электропередач, особую значимость приобретают бесперебойные источники электроэнергии. В связи с этим, целью исследования является разработка автономного источника питания. В процессе исследования была разработана структурная схема проектируемого автономного источника электроэнергии, включающая следующие основные компоненты: транзисторный, однофазный автономный преобразователь напряжения, 4 литий-ионных аккумулятора, а также плата защиты, необходимая для стабильной работы и безопасной эксплуатации аккумуляторных элементов. Созданный нами переносной автономный источник питания индуцирует выходное напряжение 220В синусоидальной формы. Результаты тестирования работоспособности данного устройства показали его бесперебойное, стабильное функционирование с различными электробытовыми приборами. Основными достоинствами разработанного источника по сравнению с существующими являются: компактность, малый вес и простота в использовании.*

***Ключевые слова:** автономный источник питания, литий-ионные элементы, преобразование электрической энергии.*

***Для цитирования:** Дубовсков К. Ю., Гребенщиков А. М., Карагодин Н. В. Разработка автономного источника питания на литий-ионных элементах // Шаг в науку. – 2022. – № 1. – С. 21–26.*

## DEVELOPMENT OF AN AUTONOMOUS POWER SOURCE BASED ON LITHIUM-ION CELLS

**Dubovskov Konstantin Yurievich**, student, training program 13.03.02 Electric power and electrical engineering, Orenburg State University, Orenburg  
e-mail: kdubovskov@mail.ru

**Grebenshchikov Alexander Mikhailovich**, student, training program 13.03.02 Electric power and electrical engineering, Orenburg State University, Orenburg  
e-mail: cc90518@mail.ru

---

**Karagodin Nikita Valerievich**, student, training program 13.03.02 Electric power and electrical engineering, Orenburg State University, Orenburg  
e-mail: karagodin19062002@gmail.com

Research advisor: **Semyonova Natalya Gennadievna**, Doctor of Pedagogical Sciences, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Automated Electric Drive, Electromechanics and Electrical Engineering, Orenburg State University, Orenburg  
e-mail: ng\_sem@mail.ru

**Abstract.** *In field situations, when a person is far from power lines, uninterrupted power sources are of particular importance. In this regard, the purpose of the study is to develop an autonomous power source. In the course of the study, a structural diagram of a projected autonomous power source was developed, which includes the following main components: a transistor; single-phase autonomous voltage converter; 4 lithium-ion batteries, as well as a protection board necessary for stable operation and safe operation of battery cells. The portable self-contained power supply created by us induces an output voltage of 220 V sinusoidal. The results of testing the performance of this device showed its uninterrupted, stable operation with various electrical appliances. The main advantages of the developed source in comparison with the existing ones are: compactness, light weight and ease of use.*

**Key words:** *autonomous power supply, lithium-ion cells, electrical energy conversion.*

**Cite as:** Dubovskov, K. Yu., Grebenshchikov, A. M., Karagodin, N. V. (2022) [Development of an autonomous power source based on lithium-ion cells]. *Shag v nauku* [Step into Science]. Vol. 1, pp. 21–26.

подавляющее большинство электроприборов работают от электрической сети напряжением 220 В. Но что, если нам необходимо запитать устройство, рассчитанное на напряжение 220 В, в полевых условиях, находясь далеко от цивилизации?

Этот вопрос заставил нас изучить научно-техническую литературу, посвященную разработке переносного автономного источника питания, предназначенного для работы в любых климатических условиях и индуцирующего напряжение 220 В. Была поставлена следующая цель исследования: разработать автономный источник электропитания, функционирующий в широком температурном диапазоне и обеспечивающий бесперебойную, стабильную работу электробытовых приборов, запитывающихся напряжением 220 В. Для достижения цели были поставлены задачи:

1. Анализ научно-технической литературы в области проектирования автономных источников питания.

2. Разработка структурной схемы автономного источника электроэнергии, обеспечивающего бесперебойное, стабильное функционирование электробытовых приборов, питающихся от напряжения 220 В.

3. Экспериментальное тестирование разработанного автономного источника электроэнергии.

Анализ существующих технических решений показал, что в настоящее время наиболее целесообразно разрабатывать автономные источники питания, имеющие встроенную аккумуляторную батарею большой ёмкости. Существует несколько разновидностей аккумуляторных элементов, используемых для автономного и резервного электропитания, к ним относятся: литий-ионные (Li-Ion), свинцово-кислотные (Pb), никель-металл-гидридные (Ni-MH)

и никель-кадмиевые (Ni-Cd) аккумуляторы [10]. Сравнительная характеристика аккумуляторных элементов представлена в таблице 1, она составлена на основании данных, приведенных в работе [11].

Из таблицы 1 очевидно, что наиболее целесообразно при разработке автономных переносных источников питания использовать литий-ионные элементы. Свое 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 [1].

Основными преимуществами данных элементов питания по сравнению с другими, как следует из таблицы 1, являются: создание более высокого рабочего напряжения на элементах: 3,2–4,2 В; продолжительный «жизненный цикл» работы: 1000 часов, определяемый высокой емкостью литий-ионных элементов: 3200 мА\*ч.; высокое значение разрядного тока: около 20 А; минимальный саморазряд: 4–6% за месяц, 10–20% за год; малый вес; незначительное старение без регулярной эксплуатации, до 20% в год; большой эксплуатационный ресурс порядка 10 лет; существенный запас рабочих циклов разряд-заряд, более 1000; простота в уходе и использовании.

К основным недостаткам нами отнесены:

– необходимость создания сложной электронной системы управления различными секциями батарей;

– достаточно высокая стоимость. В среднем, в розничной продаже, один аккумуляторный элемент стоит 300 рублей. Цена может варьироваться в зависимости от производителя элементов и их заявленной ёмкости [9].

Таблица 1. Сравнительная характеристика аккумуляторных элементов

| Тип                     | Рабочая температура, °С | Напряжение элемента, В | Жизненный цикл, ч | Удельная энергия, Вт×ч/кг | Само-разряд, % | Обслуживание |
|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------|---------------------------|----------------|--------------|
| Литий-ионный            | -20...+40               | 3,2–4,2                | 1000              | 280                       | менее 10       | не требуется |
| Свинцово-кислотный      | -40...+40               | 2,11–2,17              | 300               | 30–60                     | 5–7            | 3 месяца     |
| Никель-металл-гидридный | -60...+55               | 1,2–1,25               | 500               | 60–72                     | 30             | 3 месяца     |
| Никель-кадмиевый        | -50...+40               | 1,2–1,35               | 1000              | 4–80                      | 20             | 3 месяца     |

*Источник: разработано авторами на основе работы Фатыхова Р. Р. Перспективы применения литий-ионных аккумуляторов в качестве резервных источников питания на электрических станциях // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2017. – № 4 (36). – С. 48–50.*

Анализ научно-технической литературы в области технологического исполнения литий-ионных аккумуляторов позволил выявить две проблемы: существующие технические решения источников питания не обеспечивают работу электротехнических приборов, работающих от синусоидального напряжения 220 В [5; 6; 12]; отсутствие защиты аккумулятора от короткого замыкания и перегрузки [3; 11]. В связи с этим для устранения первой проблемы мы предложили использовать преобразователь напряжения с 12 В постоянного тока на 220 В синусоидального, а для нивелирования второй проблемы – плату защиты литий-ионных аккумуляторов. Необходимость такой платы обусловлена тем, что без нее, как отмечено в работе [7], литий-ионные аккумуляторы выходят из строя.

С учетом вышесказанного, нами были предложены следующие основные технологические компоненты источников питания на литий-ионных элементах (ИПЛИЭ): преобразователь напряжения с 12 В постоянного тока на 220 В синусоидального; литий-ионные аккумуляторы; плата защиты литий-ионных аккумуляторов, а также дополнительные компоненты: двухпозиционный переключатель, необходимый для запуска платы преобразователя напряжения; вентилятор для охлаждения ИПЛИЭ, работающий от напряжения 12 В; соединительные провода, коннектор для подключения сетевого зарядного устройства.

При разработке автономного ИПЛИЭ нами были взяты 4 литий-ионных аккумулятора формата 18650, т.к. каждый аккумулятор этого формата вырабатывает напряжение в диапазоне от 2,4 В до 4,2 В, работает в широких диапазонах температур, обладает большой удельной энергией – 280 Вт×ч/кг и создает максимальный непрерывный ток около 20 А.

Как было сказано выше, одним из недостатков литий-ионных элементов является необходимость в наличии специальной платы, предназначенной для защиты аккумулятора от повышенного заряда

(выше 4,2 В), разряда (ниже 2,4 В), а также от короткого замыкания и перегрузки [2].

В связи с этим, для безопасного использования литий-ионных элементов нами была применена плата защиты BMS (Battery Management System – система управления батареями) 4S. Она контролирует заряд и разряд, предотвращая перезаряд и перезаряд аккумуляторов [4]. В плату встроены так называемый «балансир», который заряжает отдельно каждый литий-ионный аккумулятор в сборке из нескольких элементов, подключенных параллельно или последовательно. Данная плата измеряет напряжение на каждом из аккумуляторов в отдельности и отключает систему, если напряжения выше или ниже критических: 4,2 В или 2,4 В, соответственно. Так же данная плата позволяет безопасно заряжать сразу все 4 аккумулятора, для чего к ней припаивается коннектор 5,5 × 2,1 мм. Стоит отметить, что при несоблюдении должных мер по защите, аккумуляторы могут выйти из строя, потеряв свою ёмкость, или даже воспламениться.

В качестве преобразователя напряжения в автономном ИПЛИЭ мы предлагаем использовать транзисторный [8], однофазный автономный инвертор напряжения [13]. Используя такой тип преобразователя, будет получено синусоидальное выходное напряжение значением 220 В. Выбранный нами инвертор снабжён защитой от низкого входного напряжения, которая не даёт запуститься устройству, если напряжение, снимаемое с платы защиты BMS 4S, ниже 12 В.

На рисунке 1 представлена разработанная нами структурная схема ИПЛИЭ, с учётом выбранных компонентов для её создания. Как видно из рисунка 1, литий-ионные элементы подключены последовательно, что позволяет добиться напряжения 16,8 В при максимальном заряде каждого аккумулятора и около 14,8 В – в рабочем режиме. Эти значения напряжений позволяют обеспечить стабильную работу платы преобразователя.

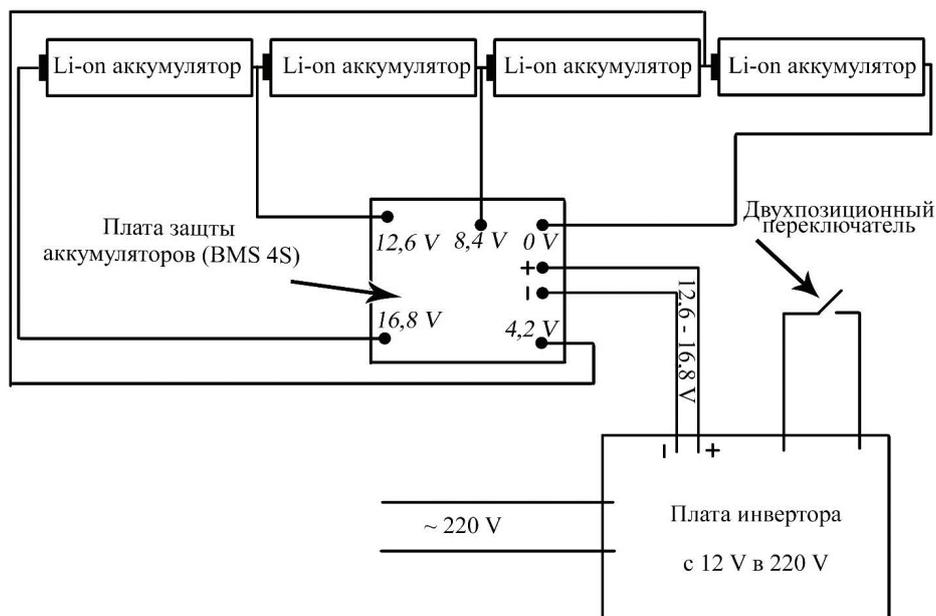


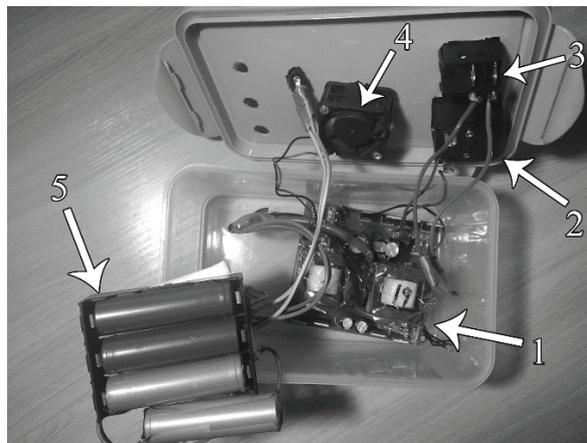
Рисунок 1. Структурная схема источника питания на литий-ионных элементах  
 Источник: разработано авторами

На основании представленной структурной схемы ИПЛИЭ нами изготовлен автономный перенос-

ной источник питания (рисунок 2).



а) вид сверху



б) вид изнутри

Рисунок 2. Фотографии изготовленного автономного источника питания  
 Источник: разработано авторами

На рисунке 2б введены следующие обозначения: 1 – плата преобразователя с 12 В на 220 В; 2 – розетка для подключения устройств, рассчитанных на 220 В; 3 – двухпозиционный переключатель, запускающий преобразователь; 4 – мини-вентилятор для охлаждения устройства; 5 – сборка из четырёх последовательно подключенных литий-ионных элементов, а также плата защиты, расположенная прямо за держателем для аккумуляторов.

Проведено тестирование разработанного

ИПЛИЭ в полевых условиях, в ходе которого был заряжен смартфон от обычного сетевого адаптера, подключенного к нашему устройству; работала лампа накаливания мощностью 95/100 Вт, а также паяльник мощностью 100 Вт. На фотографии, рисунок 3, представлена работа разработанного ИПЛИЭ для питания лампы накаливания и работы паяльника одновременно.

Таким образом, нами разработан переносимый источник автономного питания, отличающийся от существующих:

- индуцированием выходного синусоидального напряжения 220 В за счет применения преобразователя напряжения;
- надежностью функционирования за счет ис-

пользования платы защиты литий-ионных элементов;

- компактностью и небольшими массо-габаритными размерами (вес разработанного ИПЛИЭ составляет 0,9 кг).



Рисунок 3. Работа разработанного ИПЛИЭ при одновременном подключении лампы накаливания и паяльника

*Источник: разработано авторами*

Перспективными направлениями дальнейшего исследования являются:

- модернизация устройства для увеличения выходной мощности при напряжении 220 В;
- экспериментальные исследования изменения мгновенных значений напряжения и тока при заряде и разряде ИПЛИЭ для определения условий и требований, повышающих эффективность эксплуатации ИПЛИЭ.

### Выводы

1. Анализ научно-технической литературы показал, что наиболее целесообразно в качестве аккумуляторов использовать литий-ионные элементы.
2. Предложено: для обеспечения функционирования электротехнических приборов, работающих от синусоидального напряжения 220 В, от ИПЛИЭ использовать преобразователь напряжения

постоянного тока на синусоидальный; для обеспечения защиты аккумулятора от короткого замыкания и перегрузки применять плату защиты литий-ионных аккумуляторов.

3. Разработана структурная схема ИПЛИЭ, состоящая из: транзисторного автономного инвертора с выходным напряжением синусоидальной формы; 4-х литий-ионных аккумуляторов формата 18650; клавишного переключателя типа KCD4 для самозапуска преобразователя; платы защиты литий-ионных элементов типа BMS 4S; мини-вентилятора для охлаждения устройства.

4. Осуществлено тестирование разработанного переносного ИПЛИЭ, в качестве нагрузки использовались: зарядное устройство для смартфона, лампа накаливания, паяльник. Результаты эксперимента показали бесперебойную и стабильную работу ИПЛИЭ с возможностью индуцирования выходного напряжения  $220 \pm 10$  В.

### Литература

1. Абрамова А. Типы аккумуляторных батарей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://best-energy.com.ua/support/battery/414-vidy-i-tipy-akkumulyatornykh-batarej-v-podrobnostyakh> (дата обращения: 10.05.2021).
2. Белов О. И. Особенности обеспечения безопасной эксплуатации литиевых химических источников тока [Электронный ресурс]. // Лесной вестник. – 2012. – № 6 (89). – С. 104. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-obespecheniya-bezopasnoy-ekspluatatsii-litievyyh-himicheskikh-istochnikov-toka> (дата обращения: 06.05.2021).
3. Белых С. С. Суперконденсаторы в системах микрогенерации на базе солнечных батарей [Электронный ресурс]. // Молодой учёный. – 2017. № 34 (168). – С. 5–6. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/168/45457/> (дата обращения: 10.05.2021).
4. Борисевич А. В. Моделирование литий-ионных аккумуляторов для систем управления батареями: обзор текущего состояния. // Современная техника и технологии. – 2014. – № 5. [Электронный ресурс]. –

---

Режим доступа: <https://technology.snauka.ru/2014/05/3542> (дата обращения: 10.05.2021).

5. Груздев А. И. Инновационные электрические накопители на базе литиевых источников тока для мобильных и стационарных применений [Электронный ресурс]. // Инновации ГК Ростех. – 2014. – № 3 (185). – С. 116–117. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-elektricheskie-nakopiteli-na-baze-litievyyh-istochnikov-toka-dlya-mobilnyh-i-statsionarnyh-primeneniy> (дата обращения: 05.05.2021).

6. Груздев А. И. Опыт создания батарей на базе литий-ионных аккумуляторов большой ёмкости [Электронный ресурс]. // Электромеханическая энергетика. – 2011. № 3. – С. 130–133. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-sozdaniya-batarey-na-baze-litii-ionnyh-akkumulyatorov-bolshoy-yomkosti>. (дата обращения: 10.05.2021).

7. Мельчук О. В. Особенности заряда и разряда литиевых аккумуляторных батарей и современные технические средства управления этими процессами [Электронный ресурс]. // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2016. № 2. – С. 42–44. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-zaryada-i-razryada-litievyyh-akkumulyatornyh-batarey-i-sovremennye-tehnicheskie-sredstva-upravleniya-etimi-protsessami> (дата обращения: 10.05.2021).

8. Переверзев А. В. Многоуровневые инверторы напряжения. Обзор топологий и применение [Электронный ресурс]. // Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – Т. 19. – № 22. – С. 135–136. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/mnogourovnevye-invertory-napryazheniya-obzor-topologiy-i-primenenie> (дата обращения: 06.05.2021).

9. Садовников А. В. Литий-ионные аккумуляторы [Электронный ресурс]. // Молодой ученый. – 2016. – № 23 (127). – С. 84–85. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/127/35051/> (дата обращения: 08.05.2021).

10. Ситников А. В. Аккумуляторные батареи носимых электронных устройств [Электронный ресурс]. // Радиостроение. – 2017. – № 5. – С. 57–61. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/akkumulyatornye-batarei-nosimyyh-elektronnyh-ustroystv> (дата обращения: 11.05.2021).

11. Фатыхов Р. Р. Перспективы применения литий-ионных аккумуляторов в качестве резервных источников питания на электрических станциях [Электронный ресурс]. // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2017. – № 4 (36). – С. 48–50. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-primeneniya-litii-ionnyh-akkumulyatorov-v-kachestve-rezervnyh-istochnikov-pitaniya-na-elektricheskikh-stantsiyah> (дата обращения: 09.05.2021).

12. Цивадзе А. Ю. Фундаментальные проблемы литий-ионных аккумуляторов [Электронный ресурс]. // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2013. Том 49. № 2. – С. 149–150. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18777869> (дата обращения: 09.05.2021).

13. Шурыгин Ю. А. Инвертор напряжения с принудительным формированием заданной формы тока. [Электронный ресурс] // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2011. – № 2–1 (24). – С. 310–311. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/invertor-napryazheniya-s-prinuditelnyim-formirovaniem-zadannoy-formy-toka> (дата обращения: 10.05.2021).

Статья поступила в редакцию: 12.05.2021; принята в печать: 02.02.2022.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.