

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



Институт промышленной автоматизации и цифровизации им. А. Буркитбаева

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»

Аманова Әйгерім Еркебұланқызы

Исследование системы зарядки литий-ионной батареи

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
к дипломному проекту

Специальность 5В071600 – Приборостроение

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



Институт промышленной автоматизации и цифровизации им. А. Буркитбаева

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой РТиТСА  
кандидат техн. наук



К. А. Ожигенов  
«23» мая 2020 г.


ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
к дипломному проекту

На тему: «Исследование системы зарядки литий-ионной батареи»

по специальности 5В071600 – Приборостроение

Выполнил

Аманова Әйгерім

Кандидат технических наук  
Ассоциированный профессор  
 Утебаев Р.М.  
«24» мая 2020 г.

Алматы 2020



Институт промышленной автоматизации и цифровизации им. А. Буркитбаева

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»

5B071600 – Приборостроение

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой РТиТСА  
кандидат техн. наук



К. А. Ожикенов  
«27» января 2020 г.

### ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Аманова Әйгерім Еркебуланқызы

Тема: Исследование системы зарядки литий-ионной батареи

Утверждена приказом Ректора Университета №726-б от «27» января 2020 г.

Срок сдачи законченной работы «15» мая 2020 г.

Исходные данные к дипломному проекту: Arduino IDE

Перечень подлежащих разработке вопросов в дипломном проекте:

- а) Изучение процессов при поэтапном заряде-разряде аккумулятора;
- б) Оценка влияния нестандартных методов заряда батареи на ее характеристики и свойства;
- в) Анализ имеющихся систем зарядки аккумулятора и рассмотрение их эффективности;
- г) Обзор возможности повышения продуктивности батареи посредством изучения и вывода графика заряда в реальном времени.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):


*Представлены 15 слайдов презентации работы*

Рекомендуемая основная литература: из 20 наименований 20

**ГРАФИК**  
подготовки дипломного проекта

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Технологическая часть	22.01-25.02.2020 г.	Выполнено
Практическая часть	20.02-29.04.2020 г.	Выполнено

Подписи  
консультантов и нормоконтролера на законченный проект с указанием  
относящихся к ним разделов проекта

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	Ж.С. Бигалиева, магистр технических наук, лектор	24.05.2020г.	

Научный руководитель



Утебаев Р.М.

Задание принял к исполнению  
обучающийся



Аманова Ә.Е.

Дата

«27» января 2020 г.

## АНДАТПА

Бұл дипломдық жоба литий-ионды аккумуляторды зарядтау және зарядтау жүйесін жинауды қолдана отырып жиналған мәліметтерге сәйкес зарядтау процесін зерттеуге бағытталған.

Жұмыстың негізгі міндеттері батареяны зарядтау жүйесін жобалау және батареяда болып жатқан процестерді зерттеу үшін алынған параметрлерді талдау болып табылады.

Жұмыстың міндеттері:

The аккумулятордың сыйымдылығының күйіне және оның жұмыс циклдерінің өмірлік цикліне әсерін зерттеу;

Battery Батареяның қызмет ету мерзімін арттыру үшін өлшенген деректерді ұйымдастырыңыз.

Литий-ион көздері мобильді электроникадан бастап медициналық жабдыққа дейінгі көптеген салаларда белсенді қолданыла бастады. Олардың артықшылықтарының арқасында олар баламалы жаңартылатын әдістермен өндірілетін энергияны «сақтау» рөлін атқарады. Литий-ионды аккумуляторлардың тиімді қызмет ету мерзімін ұзарту үшін, жобаланған зарядтау жүйесі арқылы жиналған мәліметтерді зерделеп, бірдей қоршаған орта жағдайындағы әр түрлі батареялардың айырмашылығын нақты байқау қажет.

## АННОТАЦИЯ

Данный дипломный проект направлен на изучение процесса заряда и разряда литий-ионного аккумулятора по данным, собранным при помощи сборки зарядной системы.

Основными целями работы выступают конструирование системы заряда батареи и анализ полученных параметров с целью изучения протекающих в аккумуляторе процессов.

Задачи работы:

- Исследовать влияние на состояние емкости батареи и срок ее эксплуатации количества рабочих циклов;
- Систематизировать измеренные данные для увеличения срока эксплуатации аккумулятора.

Литий-ионные источники стали активно применяться во многих областях, начиная мобильной электроникой, заканчивая медицинским оборудованием. Вследствие своих преимуществ они вдобавок выступают в роли «хранилища» энергии, вырабатываемой альтернативными возобновляемыми способами. Для продления эффективной службы литий-ионных аккумуляторов необходимо изучить данные, собранные посредством сконструированной системы зарядки и наглядно наблюдать различие между разными видами аккумуляторов при одинаковых условиях внешней среды.

## ANNOTATION

This graduation project is aimed at studying the process of charging and discharging a lithium-ion battery according to data collected using the assembly of a charging system.

The main objectives of the work are the design of the battery charge system and the analysis of the obtained parameters in order to study the processes occurring in the battery.

Tasks of work:

- Investigate the effect on the state of the battery capacity and its life cycle of the number of operating cycles;
- Organize measured data to increase battery life.

Lithium-ion sources have become actively used in many fields, ranging from mobile electronics to medical equipment. Owing to their advantages, they also act as “storage” of energy produced by alternative renewable methods. To extend the effective life of lithium-ion batteries, it is necessary to study the data collected by the designed charging system and clearly observe the difference between different types of batteries under the same environmental conditions.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	
1 История литий-ионных батарей. Принцип работы. Типы литий-ионных батарей	10
1.1 История возникновения литий-ионных аккумуляторов	10
1.2 Принцип работы аккумулятора	12
1.3 Типы литий-ионных батарей	14
2 Исследование процесса заряда-разряда батареи. Экологическая ситуация	19
2.1 Процесс заряда/разряда	19
2.2 Многоступенчатый метод зарядки при постоянном токе	21
2.3 Экологическая ситуация с литий-ионными батареями	24
3 Разработка зарядной системы для литий-ионной батареи	29
3.1 Обзор платы ESP-32	29
3.2 Обзор датчиков, измеряющих значения напряжения и тока	30
3.3 Схема подключения и конечная модель	33
Заключение	
Список использованной литературы	
Приложение А	



## ВВЕДЕНИЕ

На данный момент технологии стремительно развиваются и в значительной степени зависят от совершенствования источников энергопитания. Открытие литий-ионных аккумуляторов поспособствовало развитию областей, важнейшей проблемой которых, выступала недостаточность объема энергоемкости у существующих на тот момент аналогов. Помимо высокой емкости литий-ионные источники имеют нижеуказанные преимущества: наиболее низкий саморазряд, продолжительный срок эксплуатации, более значительное число рабочих циклов и надежность.

Несмотря на бурное развитие аккумуляторной отрасли, имеющихся разработок недостаточно для их внедрения в серийное производство вследствие неполноты исследования химических процессов, происходящих при заряде и разряде батареи.

Кроме всего прочего существует нерешенная проблема утилизации батарей, для устранения данной проблемы необходимо усовершенствование аккумуляторов для продления срока их службы, и для их более эффективного использования.

Сбор и анализ данных, полученных при помощи сконструированной системы зарядки аккумулятора, помогут понять процесс более точно и повысить эффективность батареи. Вдобавок на основе данной схемы возможно решение проблемы долгого заряда литий-ионной батареи. Поскольку на текущий момент основным недостатком является длительность зарядки аккумулятора без отрицательного влияния на срок его эксплуатации и свойства.

# 1 История литий-ионных батарей. Принцип работы. Типы литий-ионных батарей

## 1.1 История возникновения литий-ионных аккумуляторов

В 1970-е годы, после открытия первичных литиевых источников, появилась идея сборки многоразовых источников питания на основе данного элемента, вследствие его высоких характеристик и возможности создания аккумулятора компактного размера. Впервые реализовать новый концепт в конструировании аккумулятора решил американский химик Майкл Стэнли Уиттингем, взявший за основу катодного материала своего изобретения металлический литий, являющийся одним из самых активных и легких металлов, имеет высокую плотность энергии и большой энергопотенциал. Также процессы «интеркаляции» и «деинтеркаляции» были взяты за основу для зарядки и разрядки аккумулятора. Все же его батарея имела ряд недостатков: во-первых низкое напряжение, вырабатываемый значение в 2,3В, во-вторых небезопасность использования ввиду опасности воспламенения данных моделей по причине активного взаимодействия лития с кислородом, что не позволило ее применять.

Спустя десять лет американский ученый Дж. Гуденаф решил заменить металлический литий на оксид кобальта. В результате он смог увеличить выдаваемое напряжение до 4В.

Окончательная современная модель батареи, применяемой в настоящий момент принадлежит японскому ученому Акира Ёсино, он заменил оксид кобальта, служившего катодным материалом на кобальтит лития ( $\text{LiCoO}_2$ ), анодный материал был заменен на каменноугольный кокс. Его разработка считается «вторичной», так как за основу он взял наблюдения и исследования вышеуказанных двух ученых.

Узнав о данной разработке, компания Sony использовала патент Акира Ёсино для выпуска первой современной модели литий-ионной батареи (рисунок 1.1). Спустя время влияние японских производителей аккумуляторов дало толчок к массовому использованию данного типа аккумулятора в сотовых телефонах, медицинском оборудовании, транспорте и других областях электроники.



Рисунок 1.1 - Первая выпущенная литий-ионная батарея

Li-ion аккумуляторы имеют гораздо большую плотность энергии, практически вдвое больше в отличие от никель-кадмиевых. При добавлении к Li-ion других элементов, возможно, повысить ее эффективность еще в несколько раз.

В настоящее время ни одна отрасль электроники не обходится без применения компактного литий-ионного источника энергии, что доказывает его надежность и безопасность использования.

### 1.1.1 Конструкция современной литий-ионной батареи

Литий-ионная батарея по причине своей щелочной природы выпускается в двух наиболее популярных формах: модель призмы и плоской.

1. Основой цилиндрической модели является сердечник, состоящий из совокупности электродов в форме тонких пластин, свернутые в рулон, локализованные в специальной оболочке (рисунок 1.2). Данная специально разработанная оболочка располагается в металлическом корпусе, подключенном к отрицательно заряженным элементам. Чтобы свести к минимуму самопроизвольный разряд аккумулятора, возникающего в результате циркуляции тока по проводнику, необходимо не допускать соприкосновения полярностей, по этой причине положительный полюс аккумулятора располагается в верхней части, а отрицательный вывод в нижней.

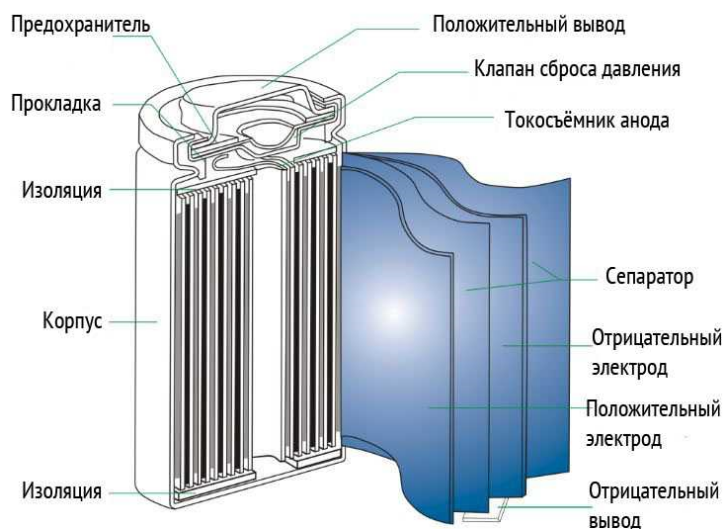


Рисунок 1.2 – Строение цилиндрической литий-ионной батареи

2. Плоский литий-ионный аккумулятор формируется путем накладывания пластин в прямоугольную форму (рисунок 1.3). Данные пластины сложнее сдерживают сжимающие усилия на электроды, но данная конструкция обеспечивает наиболее крепкую структуру аккумулятора в отличие от цилиндрической формы.

Помимо прямоугольной формы также используется спиралевидная форма, формируемая из скручивания рулонов электродов. Благодаря своей

структуре эта модель обладает высокими техническими характеристиками. Но также имеется недостаток, приводящий к снижению эффективности устройства, это повышение температуры сердечника и плавление сетки за счет излишне близкого прилегания пластин во время процесса зарядки.



Рисунок 1.3 - Внешний вид плоского аккумулятора

Во избежание утечки жидкого сепаратора и нарушения целостности аккумулятора, его конструкция обязана быть абсолютно герметичной. За счет герметичности никакие посторонние вещества из окружающей атмосферы не вступают в химическую реакцию с содержащимися в батарее элементами. Любые компоненты, не входящие в структуру батареи могут повредить ее и вывести из строя, либо снизить характеристики. Пористый пропилен используется в качестве разделяющего элемента между разноименными электродами.

Помимо вышеперечисленных двух типов имеется и комбинированный вид. Он включает в себя достоинства обеих моделей, тем самым повышая свойства батареи, то есть продление срока службы, а также улучшение выходных технических характеристик. Для получения данной совмещенной модели электроды, приложив довольно плотно друг к другу, сворачивают в рулон и формируют из них цилиндр формы овала. При ее моделировании необходимо учитывать плавность перехода пластин для устранения возможных повреждений целостности поверхности батареи.

При функционировании аккумулятора, а также при протекании химической реакции между компонентами внутри системы образуются токсичные газообразные вещества. Для предотвращения утечки газов в батарее расположено отверстие, выпускающее при скоплении накопившийся газ в атмосферу. На данный момент специальный клапан, предназначенный для экстренного сброса избыточно накопившихся паров, достаточно автоматизирован и используется в батареях выдающих высокую мощность.

## 1.2 Принцип работы аккумулятора

Структура батареи состоит из:

- Анодного материала, представленного в виде медной фольги;
- Катодного материала, представленного в виде алюминиевой фольги;
- Сепаратора – пористого вещества, пропитанного жидким веществом «электролитом».

Катодный и анодный материал батареи разделен сепаратором для предотвращения свободного перемещения ионов лития между пластинами. Для подачи питания и нагрузки клеммы-токосъемники присоединяют к пластинам, а электроды расположены в водонепроницаемом корпусе. За счет улучшения каждого элемента структуры будет улучшаться вся литий-ионная батарея. По этой причине необходимо вести активную работу по исследованию и улучшению электродных материалов.

Заряд аккумулятора основан на двух основных процессах: «интеркаляция» и «деинтеркаляция». Интеркаляция – обратимое внедрение молекул одного вещества в кристаллическую решетку другого или в группу веществ. Деинтеркаляция – процесс обратный «интеркаляции», извлечение молекулы вещества образовавшейся в результате химической реакции связи.

Касательно заряда литий-ионной батареи при интеркаляции катиона лития в кристаллическую решетку графита, образуя химическую пару  $\text{LiC}_6$ .

Принцип работы построен на умении атомов лития внедряться в структуры других веществ, например, соли металлов. В результате данного процесса образуется химическая связь, что при заряде позволяет накапливать достаточное количество заряженных частиц на одном электроде (рисунок 1.4). А при разряде происходит обратная ситуация, ионы возвращаются на свой первоначальный электрод, при этом отдавая необходимый заряд.

Довольно часто в роли электролита применяют жидкости с добавлением воды, сохраняющие стабильность при высоких значениях напряжения и не имеющие свободных частиц. На данный момент при производстве батарей не применяется металлический литий, что сделало процесс перехода ионов по сепаратору между электродами безопасным.

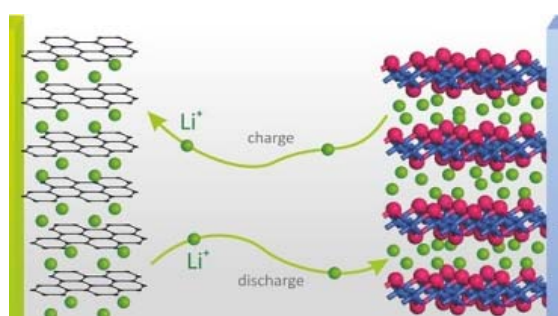


Рисунок 1.4 - Процесс заряда и разряда аккумулятора

Исходя из вышесказанного, может сделать вывод, что данный процесс заряда и разряда аккумулятора основывается на перемещении ионов между пластинами, не образуя при этом никаких дополнительных связей с

элементами. По этой причине зарядный процесс в батарее вполне стабилен при нормальных условиях.

Преимущества литий-ионных аккумуляторов:

➤ Высокая энергоемкость. Емкость современных литий-ионных аккумуляторов в 2-3 раза превышает своих предшественников, например в сравнении с NiMH;

➤ Большое количество циклов заряда-разряда. Литий-ионную батарею не нужно полностью разряжать для зарядки вследствие работы аккумулятора по циклам. То есть, один цикл завершится, когда на нем будет израсходована емкость равная 100%. Также спустя 2000-4000 циклов батарея теряет лишь 20% от своей первоначальной емкости (рисунок 1.5);

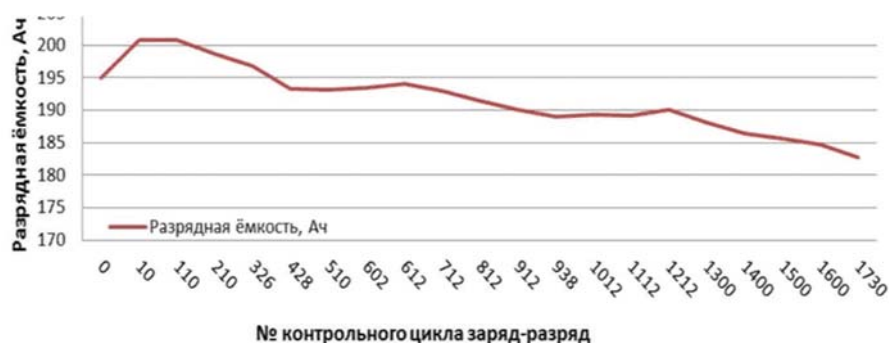


Рисунок 1.5 - Изменение емкости батареи при глубине 70% заряда

➤ Возможность выдерживать большие токи разрядки.

Недостатки литий-ионных аккумуляторов:

➤ Работают в определенном диапазоне температур. Для эффективной работы аккумулятора необходимы нормальные условия окружающей среды, без избыточной влажности и в диапазоне температур 0-40°C;

➤ Огнеопасны. При неправильной эксплуатации и нарушении целостности батареи возможно возгорание. Также в роли защиты от возгорания в батарею встраивается плата защиты, ограничивающая максимальное значение напряжения на аккумуляторе и предохраняющая его от падения ниже указанной границы напряжения при разряде. Помимо этого контролируются значения тока заряда-разряда и температура батареи;

➤ Подверженность старению. Вне зависимости от того, эксплуатируется ли аккумулятор или нет, его емкость все равно будет понижаться. С течением времени аккумулятор потеряет часть от своей первоначальной емкости, особенно заметным это будет спустя 2-3 года использования;

➤ Более высокая стоимость по сравнению с NiCd аккумуляторами.

### 1.3 Типы литий-ионных батарей

Существует несколько типов литий-ионных батарей:



- Литий-кобальтовые – LiCoO<sub>2</sub>

Вследствие наибольшего объема энергоемкости и компактного размера данный тип аккумуляторов используется наиболее часто в таких устройствах как сотовые телефоны, цифровые камеры и электронные сигареты. Основными недостатками являются нестабильность при высоких нагрузках (возможность возгорания), весьма ограниченный срок эксплуатации и узкий диапазон рабочих температур (рисунок 1.6).

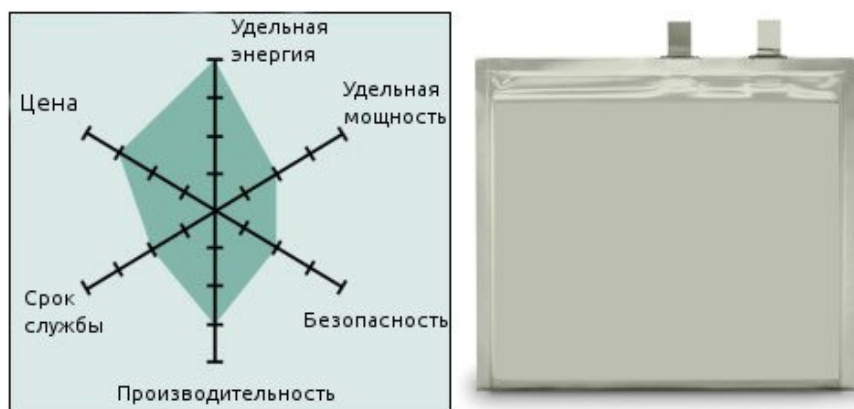


Рисунок 1.6 - Диаграмма, характеризующая свойства и внешний вид аккумулятора

К выбору данных батарей следует подходить тщательно, нельзя использовать при большом энергопотреблении и заряжать при высоких токах по причине неустойчивости химического состава электролита и выделения газов. Для более безопасного использования применяют плату защиты для предотвращения возможного короткого замыкания.

Основные характеристики:

- номинальное значение напряжение- 3.6В;
- максимально допустимое значение – 4.2В;
- ток заряда – 0.7-1С;
- количество рабочих циклов – 500-1000.

Для восстановления эффективности батареи используются блоки с возможностью управлять характеристиками зарядки. Немаловажным недостатком является необходимость утилизации батареи ввиду невозможности ее повторной эксплуатации.

- Литий-марганцевые – IMR

Аккумуляторы, созданные на основе химического соединения лития и марганца в качестве катодного материала и анодного материала из графита. Структура батареи представлена в виде трёхмерного кристаллического каркаса из оксида марганца, интегрированного ионами лития. В сравнении с кобальтовой они более устойчивы и стабильны при высоких значениях тока заряда и разряда, а также изменениях внешней среды. Учитывая безопасность конструкции нет необходимости оснащать батареи дополнительно защитным

контроллером. При неисправности имеется вероятность «течки» электролита или же ее деградации без сопутствующих взрывоопасных свойств.

Ввиду своих преимуществ нашли применение в качестве источников подачи энергии при высоком энергопотреблении в обеспечении питанием медицинское оборудование, мощные фонари, электротранспорт и радиоуправляемые модели.

Основные характеристики:

- номинальное напряжение – 3.7В;
- максимально допустимое значение – 4.2В;
- ток заряда – 0.7-1С;
- количество рабочих циклов – 300-700.

Существенным недостатком является относительно низкая емкость, сравнимая с кобальтовыми, но в условиях их применения LiCoO<sub>2</sub> скорее потеряют мощность или вовсе выйдут из строя (рисунок 1.7).

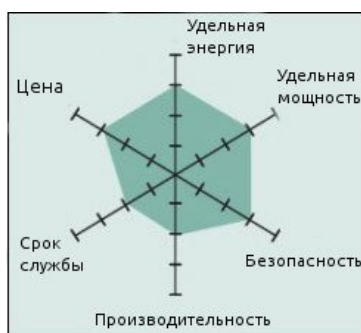


Рисунок 1.7- Внешний вид батареи и свойства, представленные диаграммой

Для увеличения объема энергоемкости и продления срока эксплуатации аккумулятора используют сочетание литий-марганца с литий-никель-марганец-кобальтовыми. Обе системы дополняют друг друга своими достоинствами, что позволяет применять полученные батареи в качестве источника питания для электромобилей. Комбинация из трех металлов позволяет значительно увеличить диапазон их использования, а также конструировать батареи по требуемым характеристикам, например высокая энергоемкость, безопасность эксплуатации и продлением срока службы.

- Феррофосфатные–LiFePO<sub>4</sub>

Материал FePO<sub>4</sub>, открытый в 1996 году американским ученым Дж.Гуденафом, обладает существенно меньшей ценой, менее вреден и более устойчив при смене температур в отличие от других литий-ионных аналогов. Вследствие его преимуществ данный материал был взят за основу катодного материала аккумулятора. Соединение фосфата железа с литием имеет наилучшие электрохимические характеристики и низкое сопротивление (рисунок 1.8).

После соответствующих исследований и доработок данный тип батареек стал активно использоваться наряду с остальными.



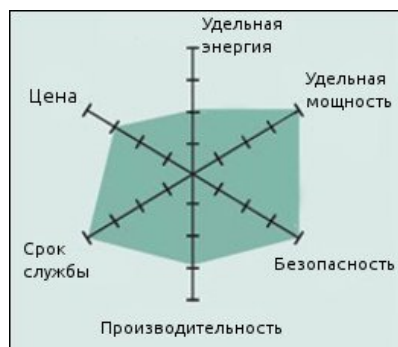


Рисунок 1.8 - Свойства аккумулятора и его внешний вид

Литий-фосфатные батареи обладают рядом преимуществ: хорошая стабильность при высоких значениях температуры, стойкость к излишнему заряду и разряду и более продолжительный срок эксплуатации. Исходя из характеристик данных батарей, они нашли применение в качестве «хранителей» энергии, вырабатываемой альтернативными способами, такими как ветрогенераторы, солнечные панели, также в электросамокатах, электровелосипедах, водном транспорте и т.д.

Возможность переносить высокое напряжение, делает их более устойчивыми к деградации и продлевает срок службы.

Основные характеристики:

- номинальное напряжение – 3.2В;
- максимально допустимое значение – 3.65В;
- ток заряда – 1С;
- количество рабочих циклов – 1000-2000;
- повышенный саморазряд.

За счет устойчивых характеристик аккумулятор нашел применение в качестве источника питания для приводов электродвигателей и бытовой техники.

Каждый из вышеперечисленных типов имеет свои достоинства и слабые стороны (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Сравнение характеристик основных типов литий-ионного аккумулятора

Характеристики	Литий-кобальт	Литий-марганец	Литий-железо-фосфат
Напряжение	3.60В	3.80В	3.30В
Предельное напряжение зарядки	4.20В	4.20В	3.60В
Количество циклов заряд/разряд	500-1000	500-1000	1000-2000
Диапазон рабочих температур	Узкий	Узкий	Широкий
Удельная мощность	1С	10С, 40С (кратковременно)	35С (постоянно)

Производители	Sony, Toshiba, Sanyo, Samsung	Hitachi, Samsung, Sanyo, NEC	A123, Valence, Lishen, BYD
---------------	----------------------------------	---------------------------------	-------------------------------

## 2 Исследование процесса заряда-разряда батареи. Экологическая ситуация

### 2.1 Процесс заряда/разряда

Метод заряда аккумулятора строиться из двух основных и одного дополнительного этапов. 2 основных этапа включают в себя:

1. Первый – при  $I$ -const;
2. Второй – при  $U$ -const и падающем  $I$ .

Процесс заряда и его характеристики на каждом из этапов можно наблюдать на схеме (рисунок 2.1). На нем представлен процесс заряда аккумулятора с кобальтитом лития используемого в роли положительного электрода. Полученная кривая напряжений при добавлении иных химических элементов немного изменится, но смысл процесса будет той же.

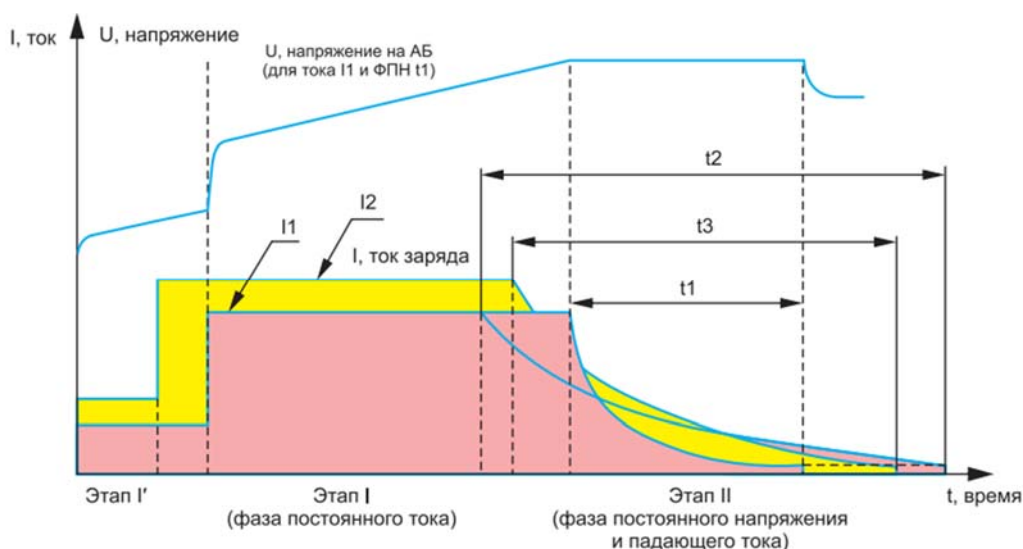


Рисунок 2.1 - Процесс заряда аккумулятора по этапам

Рассмотрим самый первый и кратковременный этап – дополнительный. Данный этап рекомендуется при слишком продолжительном нахождении батареи в разряженном состоянии, а также при напряжении ниже указанного минимального значения. Для большинства литий-ионных батарей установленным минимальным значением напряжения является 2,5В. Необходимо восстановить электроды и наладить все химические процессы внутри батареи для корректной работы аккумулятора в дальнейшем. Также этот режим используют при низких температурах (при  $T < 4^{\circ}\text{C}$ ), чтобы повысить температуру электродных пластин и перейти на стандартный режим заряда. Малый ток, передаваемый посредством клемм, обеспечивает плавный переход активных веществ батареи к номинальным значениям напряжения для корректного функционирования.

Помимо этого, благодаря I' этапу осуществляется защита аккумулятора от короткого замыкания. Если при подаче на батарею малого тока по

истечению небольшого количества времени напряжение так и не возрастет, то это свидетельствует о его неисправности. Но в большинстве зарядных устройств этот этап пропускается и процесс заряда начинается сразу с первого этапа.

Этап I проходит при номинальном значении тока и при постепенно возрастающем до максимального значения напряжении. На схеме рост напряжения изображен условно, на самом деле показания кривой зависят от химических элементов, используемых при производстве батареи. Номинальный ток измеряется в долях от номинальной емкости ячеек аккумулятора, измеряемой в Сн. Для эффективной и долгой службы аккумулятора величина номинального тока заряда выбирается в диапазоне 0.2–0.5 Сн. Максимально допустимый ток заряда для того или иного аккумулятора можно узнать в документации производителя. Для лучшего понимания необходимо рассмотреть пример: если емкость аккумулятора составляет 10А\*ч, то номинальный ток для него будет являться 2А – пять часов заряда.

При процессе быстрой зарядки применяется ускоренный режим в 5-10А. Но такой режим может сократить срок службы батареи. При ускоренной зарядке значение подаваемого тока зарядки составляет 0,5–1 Сн и выше. Но чем выше значение тока, подаваемое на элемент при зарядке, тем меньше будет набранная емкость и выше вероятность нагрева батареи, для этого необходимо пристально наблюдать за процессом заряда. Заряд номинальный и высоким током лучше чередовать, так как при постоянном использовании ускоренного режима емкость батареи может гораздо быстрее упасть, а также возможна скорая деградация батареи. Ускорение первого этапа зарядки приведет к более быстрому достижению конечного значения напряжения и переходу ко второму этапу зарядки.

II этап начинается после повышения напряжения до его максимального значения. Он протекает при  $U = \text{const}$  при котором значение тока падает до своей минимальной величины. Процесс заряда будет считаться окончанным при падении величины тока до 0,1–0,05 Сн. Если рассматривать вышеописанный пример, то до 100 мА. Около 5-10% емкости батареи набирается при номинальном режиме заряда. После завершения заряда напряжение на аккумуляторе составляет 0,05–0,1 В. Продолжительность данного этапа зарядки зависит от срока эксплуатации аккумулятора (количества циклов заряда-разряда) и его степени деградации. Чем больше срок службы батареи, тем дольше будет длиться заряд на этом этапе.

После окончания заряда аккумулятора напряжения падает до минимального значения и входит в сбалансированное состояние. Не рекомендуется оставлять заряженный аккумулятор на зарядке вследствие возможной деградации электродов. Поэтому после окончания 2 этапа необходимо отключить батарею от сети.

Принцип определения заряда аккумулятора.

При разряде литий-ионного аккумулятора рабочее напряжение при разряде литиевого аккумулятора меняется нелинейно с течением времени в

диапазоне 4.35-2.75В. Напряжение среднего заряженного аккумулятора, названного по этой причине платформой, гораздо стабильнее в сравнение с заряженным и практически разряженным напряжением аккумулятора.

Значения напряжения, характеризующие заряд батареи (рисунок 2.2):

- 4.35В - максимальное значение напряжение при котором заряд аккумулятора 100%;
- 3.80В – номинальное значение напряжения при котором от первоначальной емкости осталось 50%, также называется серединой платформы;
- 3.60В – бесперебойная точка, при которой точно не произойдет неожиданное отключение системы;
- 3.30В – значение напряжения при котором может произойти отключение ;
- 2.75В - минимальное значение напряжения, означающее полный разряд аккумулятора. Нельзя доводить аккумулятор до нижнего предела, так как при данном значении может начаться невосстанавливающаяся деградация батареи.

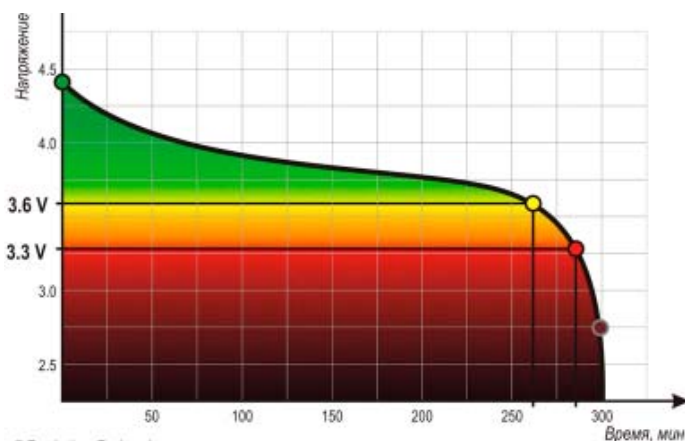


Рисунок 2.2 - График падения напряжения при разрядке аккумулятора

## 2.2 Многоступенчатый метод зарядки при постоянном токе

Для достижения напряжения отсечки заряда при зарядке аккумулятора в начальной стадии используют самую большую возможную величину скоростью заряда. В дальнейшем уменьшив величину заряда на 0.1С, зарядка вновь продолжается до достижения максимального значения напряжения. Далее значение тока понижают на величину 0.1С, и данный процесс понижения значения скорости на 0.1С продолжается до того времени, пока напряжение зарядки не становится постоянным. Достижение постоянного значения является окончанием процесса зарядки. Для того, чтобы проверить эффективность многоступенчатого метода постоянным током, рассмотрим пример заряда при первоначальной скорости заряда 1С, напряжении отсечки – 3.6В при

температуре 25°C. Для наблюдения за кривыми I и U зарядки (рисунок 2.3). Конечное значение энергоемкости при данном многоступенчатом методе составило 1.335Ач, а величина SOC батареи достигла 99.62%.

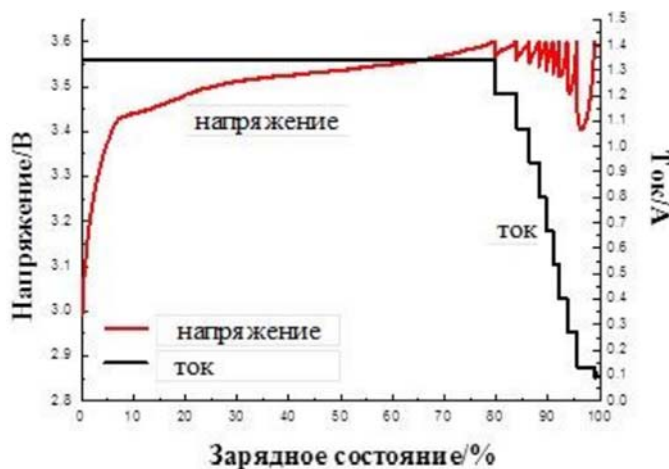


Рисунок 2.3 – График реального времени кривых I и U при многоступенчатом методе и температуре равной 25 °C

По кривой тока на схеме можно заметить, что аккумулятор на первом этапе заряжался на скорости 1С по достижению практически 80% емкости заряда, далее по окончании каждого этапа значение тока уменьшалось из-за падения напряжения, и заряжается оставшаяся часть заряда[1]. В таблице ниже приведены значения емкости аккумулятора, время зарядки и заполнение SOC при различных методах (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Сравнительный анализ нескольких методов заряда (T= 25 °C)

T	Метод зарядки	Емкость аккумулятора (Ач)	Время зарядки (мин)	Заполнение SOC, (%)
25	Постоянный ток- постоянное напряжение	1.309	220	97.68
	Двухэтапный постоянный ток- постоянное напряжение	1.246	70	92.99
	Многоступенчатый постоянный ток	1.335	98	99.63

По данным таблицы характеристик, полученных при нескольких методах заряда можно увидеть, что многоступенчатый метод в сравнении с другими является наилучшим. При данном методе зарядки значение емкости постоянного тока и постоянного напряжения составляет 92,98%, а время накопления заряда 63 минуты. Как видно самым большим преимуществом является быстрое время зарядки. В сравнении с двухэтапным способом зарядки

вышеописанный метод имеет более высокую степень заполнения емкости в связи с малым значением скорости заряда время зарядки увеличилось. Преимущества обоих способов зарядки совмещает в себе многоступенчатый метод зарядки, а значит при достаточно высоком значении плотности энергии время зарядки не увеличилось.

Исследование многоступенчатого метода зарядки при  $I = \text{const}$  и низких температурах

При низких температурах значение внутреннего значения сопротивления значительно возрастает, тем самым максимальное значение напряжения достигается за более короткое время, но емкость аккумулятора не будет заполнена полностью, что видно из ниже представленного графика.

При многоступенчатом способе заряда при достижении значения напряжения отсечки, ток заряда автоматически уменьшается, тем самым данный метод можно приспособить к моменту увеличения внутреннего сопротивления. На схемах ниже представлены графики значений напряжения и тока при использовании многоступенчатого способа в условиях низких температур (от  $-10$  до  $0^\circ\text{C}$ ) (рисунки 2.4 и 2.5).

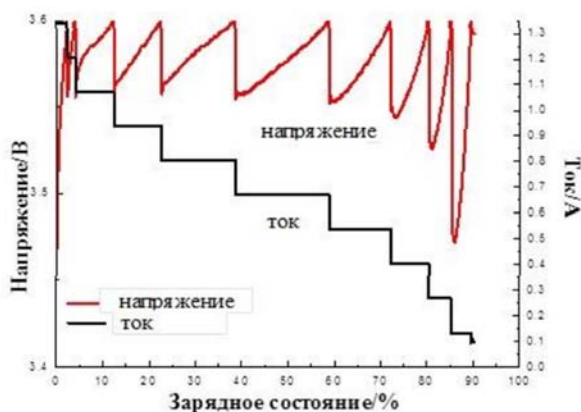


Рисунок 2.4 - Кривые тока и напряжения при  $0^\circ\text{C}$

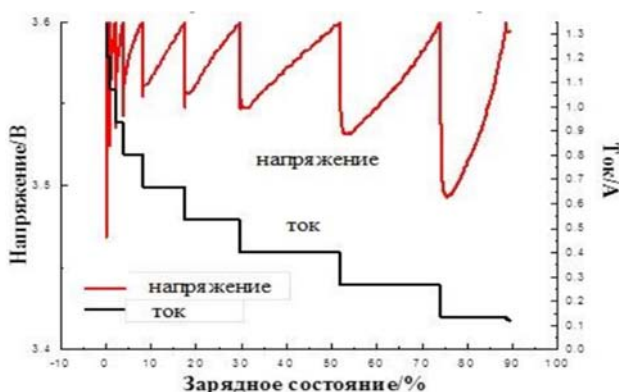


Рисунок 2.5 - Кривые тока и напряжения при  $-10^\circ\text{C}$

По причине роста значения сопротивления в условиях низких температур, начиная с 5°C и ниже, имеется большая разница во времени достижения напряжения отсечки при скорости заряда составляющей 0.8-1С в сравнение с показателями при 25°C.

80% емкости достигается при токе в пределах 0.3-0.7С, максимальное значение достигается при скорости заряда 0.4С. При температуре -10°C и скорости 0.6-1С время достижения значения напряжения сокращается. При понижении температуры за счет увеличения внутреннего сопротивления батареи многоступенчатый метод зарядки постоянным током с большим коэффициентом масштабирования снижает количество этапов зарядки, увеличивает время зарядки, однако в состоянии поддерживать высокую энергоемкость. Сравнение характеристик при различных методах и значениях температур 0°C и -10°C (таблица 2.2).

Таблица 2.2 - Сравнение разных методов зарядки при 0°C и -10°C

Т	Метод зарядки	Емкость аккумулятора (Ач)	Время зарядки (мин)	Заполнение SOC (%)
0	Постоянный ток-постоянное напряжение	1.196	183.35	89.25
	Двухэтапный постоянный ток-постоянное напряжение	1.246	70	85
	Многоступенчатый постоянный ток	1.335	98	90.07
-10	Постоянный ток-постоянное напряжение	0.664	101	49.55
	Двухэтапный постоянный ток-постоянное напряжение	0.132	12	9.85
	Многоступенчатый постоянный ток	1.198	245.65	89.4

Номинальная емкость LiFePO<sub>4</sub> аккумулятора при методе постоянный ток и напряжение и при различных температурных условиях показали уменьшение энергоемкости при низких температурах.

### 2.3 Экологическая ситуация с литий-ионными батареями

На текущее время, несмотря на массовое производство и применение литий-ионных батарей вопрос об опасности и возможности их утилизации



остается открытым. На сегодняшнее время немецкая компания Duesenfeld изобрела эффективный и дешевый метод утилизации литий-ионных батарей электромобилей. Их способ утилизации будет рассмотрен ниже.

Duesenfeld использует запатентованный метод, который сочетает в себе механические, термодинамические и гидрометаллургические процессы. Этот метод обеспечивает исключительную скорость извлечения материала, несмотря на то, что ему требуется очень мало энергии. Это возможно только потому, что в нем не используется плавка, которая обычно используется при утилизации батарей.

При использовании литий-ионных аккумуляторов метод Duesenfeld позволяет достичь коэффициента извлечения материала почти в два раза выше, чем при использовании традиционных методов переработки. В сочетании с гидрометаллургическими процессами возможна рециркуляция почти на 100%.

Основная цель компании - перерабатывать как можно больше материала в батарее. В процессе механической переработки Duesenfeld может достичь степени переработки материала 72%, а обработка черной массы с помощью гидрометаллургического процесса Duesenfeld повышает скорость переработки материала до 91%. Только разделительная пленка и компоненты электролита с высокими температурами кипения в настоящее время не могут быть восстановлены. Благодаря этим показателям Duesenfeld превосходит текущие требования Директивы ЕС по батареям 2006/66 / ЕС с некоторой маржой.

Сравнение скорости переработки материала на уровне аккумуляторной батареи без корпуса батареи, крепежных систем, винтовых фитингов, проводки или электроники.

Инновационная технологическая цепочка Duesenfeld была разработана специально для литий-ионных аккумуляторов и защищена целым рядом патентов. Уникальное сочетание Duesenfeld механической обработки и гидрометаллургических процессов, а также тот факт, что в нем не используются высокотемпературные процессы, позволяют в значительной степени перерабатывать материалы аккумуляторов. Это делает Duesenfeld лидером в технологии переработки литий-ионных аккумуляторов.

Рассмотрим способ утилизации по этапам:

1) Механическая подготовка литий-ионных батарей является сложной задачей из-за горючего электролита и опасных ингредиентов. Чтобы обеспечить безопасную подготовку, Duesenfeld разработал и запатентовал метод, который устраняет риски, специфичные для процесса.

После разгрузки и разборки батареи измельчаются в атмосфере инертного газа, а растворитель в электролите извлекается из измельченного материала с помощью вакуумной перегонки. Низкая температура процесса предотвращает образование токсичных газов. Отделенный растворитель направляется в химическую промышленность для дальнейшей подготовки.

Высушенный измельченный материал разделяется на различные фракции материала на основе физических характеристик, таких как размер частиц, плотность, а также магнитные и электрические свойства; затем они

подвергаются дальнейшей металлургической обработке (рисунок 2.6). Фракции железа, меди и алюминия отправляются на стандартную переработку. Также был разработан гидрометаллургический метод обработки черной массы, который содержит электродно-активные материалы и проводящую соль. Этот запатентованный метод восстанавливает кобальт, литий, никель, марганец и графит из черной массы.



Рисунок 2.6 - Восстановленный электролит в контейнере для сбора

## 2) Гидрометаллургия

В большинстве промышленных гидрометаллургических процессов, используемых в настоящее время для переработки черной массы, извлекаются только кобальт и никель. Литий, марганец и графит теряются в этих процессах и поэтому удаляются из материального цикла. Компания Duesenfeld разработала и запатентовала собственную процедуру, которая обеспечивает управление полным циклом путем производства аккумуляторного сырья для электродно-активных материалов, за счет чего возможно восстанавливать графит (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 - Восстановленный графит

Фторидсодержащая соль представляет собой особую проблему при гидрометаллургической переработке черной массы, поскольку она может вызывать образование плавиковой кислоты во время влажной химической обработки. На запатентованной специальной стадии предварительной обработки Duesenfeld полностью удаляет фторид перед выщелачиванием, что надежно предотвращает образование плавиковой кислоты. Как только фторид удален, металлы выщелачиваются и, в результате, отделяются от графита, который затем направляется на переработку материала. Литий, кобальт, никель и марганец отделяются друг от друга различными способами экстракции, очищаются и извлекаются в виде солей. Соли выступают в качестве основного материала для производства новых катодно-активных материалов.

Процесс механической переработки может выполняться как в стационарных, так и в мобильных конфигурациях в пунктах сбора в 40-футовых контейнерах. Батареи с истекшим сроком службы обычно классифицируются как опасные грузы и перевозятся в контейнерах для перевозки батарей. Механическая обработка на месте отделяет электролит от других материалов, и нет необходимости в специальном контейнере для транспортировки батарей для полученных продуктов. Эти промежуточные продукты перевозятся в стандартных контейнерах, что означает, что средний грузовик может перевозить в семь раз больше. Это сокращение в перевозке опасных грузов исключает большую часть затрат на весь процесс утилизации батареи.

Duesenfeld использует собственный процесс, который перерабатывает не только обычные металлы, но также графит, электролит и литий. Вторичная переработка материалов означает, что вместо того, чтобы использоваться для дорожных работ и других строительных работ, все металлы имеют высокую степень извлечения и могут получить вторую жизнь в виде высококачественного вторичного сырья, даже делая его пригодным для использования в батареях. Производство вторичного сырья с использованием процесса переработки позволяет сэкономить 8,1 тонны CO<sub>2</sub> на тонну переработанных батарей по сравнению с первичной добычей сырья. По сравнению с обычными процессами плавки, метод Duesenfeld экономит 4,8 тонны CO<sub>2</sub> на тонну переработанных батарей.

Демонтированные батареи механически дробятся, разбиваются и разделяются целым рядом процессов на корпус ячейки и материал корпуса (10-15%), электролит (10-20%), сепаратор и пленки (приблизительно 3%), электроды (приблизительно 65%) и другие компоненты (2-5%).

В обычных процессах электролит представляет собой нечто вроде проблемы на этой стадии производства, потому что неадекватно разряженные ячейки могут воспламениться в результате короткого замыкания. Предыдущие методы рециркуляции решили эту проблему путем плавления, пиролиза, сжигания или сушки при высоких температурах. Эти методы производят высокотоксичные реакционные газы, в том числе фтористый водород и другие соединения фтора. Однако Duesenfeld использует запатентованную технологию

для решения этой проблемы. Это включает в себя испарение электролита в вакууме и восстановление его в виде конденсата – метод, который больше нигде в мире не используется. Компоненты аккумулятора деактивированы. Это делает Duesenfeld рециркулируя процесс исключительнейше безопасным, эффективным и экологичным.

Полученные электродные компоненты состоят из анодного и катодного соединений. На долю медной пленки приходится 15% из них, в то время как органическое покрытие анода (графит и сажа) составляет 31%, алюминиевая пленка составляет 8%, а остальные 46% являются активным покрытием материала катода. Эти соединения необходимо отделить до того, как активное вещество сможет подвергнуться дальнейшей гидрометаллургической обработке.

Метод, используемый для разделения, представляет собой сочетание механического напряжения, просеивания и просеивания. Оно позволяет хорошо свыше 90% активного вещества быть изолированным от пленок, с очень маленьким алюминиевым и медным загрязнением взятых лития, кобальта, никеля и марганца.

Разработан и запатентован ряд дополнительных процессов для гидрометаллургической подготовки отделенных порошков покрытий. В зависимости от активного вещества, что-нибудь от 85% до больше чем 95% из лития можно взять от отделенного материала катода. С процессом Duesenfeld рециркулируя, возможно повторно использовать кобальт, никель и марганец как активные материалы батареи.

Технология извлечения из оксида лития-кобальта первоначальных элементов – кадмия, лития, кобальта и других является важнейшей проблемой переработки. До сих пор высокая стоимость процесса не позволяет большинству компаний заниматься процессом переработки. Возникнувшую ситуацию может решить более автоматизированная система процесса переработки и удешевление методов извлечения элементов.

## 3 Разработка зарядной системы для литий-ионной батареи

### 3.1 Обзор платы ESP-32

В качестве управляющего элемента был выбран микроконтроллер ESP32 (рисунок 3.1). ESP32 - это тип микроконтроллера со встроенным Wi-Fi и Bluetooth модулями. Данный микроконтроллер имеет достаточно низкое энергопотребление.

Микроконтроллер ESP32 был выпущен китайской компанией Espressif в 2016 году. Устройство оснащено 2-ядерным 32-битным процессором, работающем на разных частотах (80-240МГц). Помимо этого в нем интегрированы Wi-Fi, Bluetooth и BLE модули, усилители, фильтры и т.д. ESP32 обладает большим преимуществом – низкое энергопотребление. Микроконтроллер может питаться от обычного USB провода, подключенного к компьютеру или блоку питания, если он встроен в него.



Рисунок 3.1 - Микроконтроллер ESP-32

Характеристики:

- Напряжение питания - 3.3В;
- Беспроводные интерфейсы: WiFi 802.11n , BLE и Bluetooth v4.2;
- Периферийные интерфейсы: SPI, I<sup>2</sup>S, I<sup>2</sup>C, UART.

Также модуль оснащен встроенным управлением энергопитания. Для его управления применяется линейный регулятор, пробуждение по таймеру или сенсорному датчику, индивидуальное питание для RTC (ядро низкого энергопотребления).

ESP32 программируется на большинстве популярных платформ, одни из них:

- Arduino IDE;
- Espressif IoT Development Framework;
- Espruino;
- PlatformIO;
- Pymakr IDE.

Микроконтроллер оснащен 48 контактами плюс 1 большой тепловой контакт, которые обладают разными функциями. Выводы микросхемы:

- 3 UART;
- 2 I2C;

- 3 SPI;
- 16 ШИМ выводов;
- 2 8-битных ЦАП вывода;
- 18 каналов 12-разрядного АЦП;
- 10 GRIO портов.

### 3.2 Обзор датчиков, измеряющих значения напряжения и тока

Цифровой датчик тока и напряжения INA219 – высчитывает такие параметры, как напряжение, ток и потребляемую мощность при постоянном токе (рисунок 3.2). Данный модуль обладает небольшими габаритами, за счет чего его очень удобно использовать в различных проектах, а также выдает высокую точность измерений.

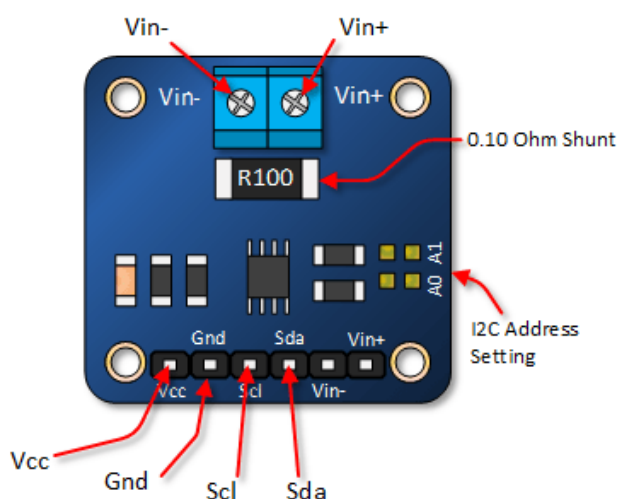


Рисунок 3.2 – Внешний вид датчика INA219

Принцип измерения характеристик основан на автоматическом изменении полярности. С помощью данного метода измеряется протекающий ток, а затем измеряется разница напряжения на шунте (резистор с малым сопротивлением). Сопротивление встроенного шунта составляет 0.1 Ом.

Помимо напряжения и тока INA219 измеряет мощность устройства с помощью математических вычислений. Датчик поддерживает интерфейс I2C. Благодаря своей компактности, доступного в SOT23 и SO-8 корпусах, датчик используется в ноутбуках, автомобилях, зарядных цепях и источниках питания. Сочетание высокой точности и разрешения в 12-бит позволяет работать с малым падением напряжения, что понижает потери и уменьшает габариты датчика на плате. Микросхема может питаться от напряжения в диапазоне 3.0-5.5В, а также работать со сверхэкономичными контроллерами.

Чип INA219 может обрабатывать измерение тока большой стороны, до +26 В постоянного тока, даже если он питается от 3 или 5 В. Он также сообщит, что высокое напряжение на стороне, что отлично подходит для отслеживания срока службы батареи или солнечных батарей.

Данный модуль используется в системах, в которых необходимо контролировать процесс заряда/разряда аккумулятора, в источниках питания с измерением подаваемой нагрузки (рисунок 3.3). Благодаря шине I2C к данному датчику на одну шину можно подключить до 4-х устройств.

Цифровой датчик INA219 позволяет с достаточно большой точностью измерять постоянный ток в прямом и обратном направлении, напряжение от 0 до 26 В.

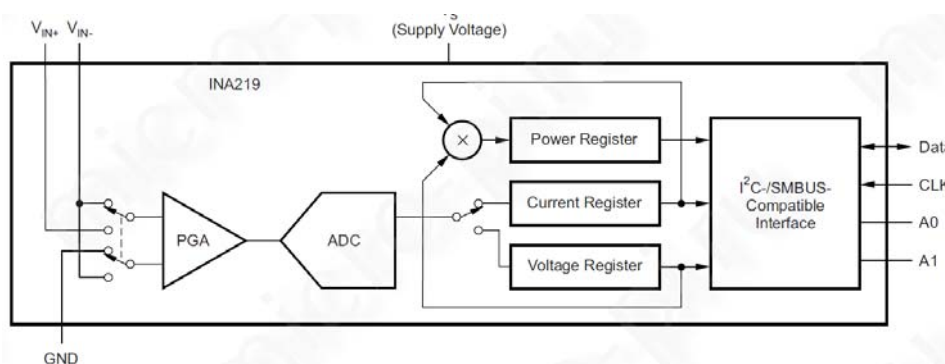


Рисунок 3.3 - Структура строения датчика INA219

#### Характеристики:

- Тип модуля: INA219;
- Рабочая температура: от -40С до 85С;
- Максимальный измеряемый ток: 3,2А;
- Интерфейс: I2C;
- Максимальное измеряемое напряжение: +-26 В;
- Напряжение питания: от 3В до 5В.

#### Описание регистров INA219

Для того, чтобы сохранить данные измеренных результатов, информацию о состоянии, настройки конфигураций и максимально/минимальные значения датчик INA219 имеет 5 регистров.. В нижеприведённой таблице рассмотрены регистры (таблица 3.1). Информация в регистрах обновляется через 4 мкс после окончания команды. В связи с этим необходима задержка, составляющая 4 мкс между окончанием записи в конкретный регистр [2].

Таблица 3.1 – Регистры датчика INA219

Адрес	Имя регистра	Функция	Сброс	Тип
-------	--------------	---------	-------	-----



(формат HEX)			(формат HEX)	
0x00	Конфигурации	Сброс всех регистров, настройка диапазона напряжения шины, усиление PGA, разрешение / усреднение АЦП.	0x399F	R/W
0x01	Напряжение шунта	Данные измерения напряжения шунта.	-	R
0x02	Напряжение шины	Данные измерения напряжения шины.	-	R
0x03	Мощность	Данные измерения мощности.	0x0000	R
0x04	Ток	Содержит значение тока, протекающего через шунтирующий резистор.	0x0000	R
0x05	Калибровка	Калибровочный регистр. Полная калибровка системы.	0x0000	R/W

### Микросхема TP4056

TP4056 – дешевая микросхема для контроля заряда литий-ионного аккумулятора. Поддерживает только метод зарядки постоянного I и U для одной литий-ионной батареи.

На рисунке ниже указан сам модуль и расположение каждого из его выводов (рисунок 3.4) микросхемы TP4056.

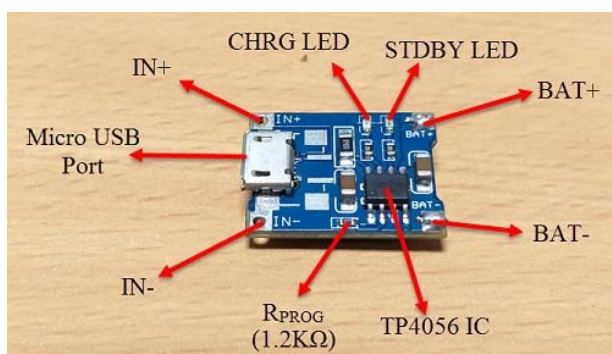


Рисунок 3.4 - Внешний вид модуля TP4056

Рассмотрим все 8-выводов микросхемы<sup>[3]</sup>:

- TEMP - контакт, измеряющий температуру;
- PROG - настраивание тока зарядки;
- GND – земля;
- VCC - напряжение питания;
- BAT – контакт подключения положительного полюса аккумулятора;



- STDBY - контакт режима ожидания;
- CHRГ - контакт зарядки;
- CE - контакт активации микросхемы.

Принципиальная схема литий-ионного зарядного устройства TP4056

На следующем рисунке показана принципиальная схема зарядной системы, собранной на основе данного модуля (рисунок 3.5).

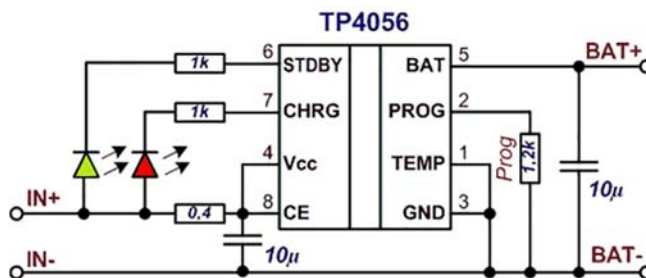


Рисунок 3.5 - Принципиальная схема модуля TP4056

Схема заряжается стандартным образом – сначала при постоянном токе, а после постоянным напряжением и понижающимся током. Зарядка системы проходит в несколько этапов:

- 1) Контроль напряжения подключенного аккумулятора;
- 2) Этап предзаряда;
- 3) Зарядка максимальным значением постоянного тока;
- 4) Достижение напряжения в 4.2В, постепенное понижение тока;
- 5) Окончание зарядки.

### 3.3 Схема подключения и конечная модель

На схеме ниже видно подключение выводов датчика к микроконтроллеру (рисунок 3.6). Так как INA219 работает по шине I<sup>2</sup>C, то необходимо учитывать линии и правильно подключить их для корректного измерения датчиком данных. Так как микроконтроллер также поддерживает шину I<sup>2</sup>C, то у него имеются определенные выводы для подключения линий связи. Линия данных SDA подключается к 21 порту ESP, а линия синхронизации SCL к 22.

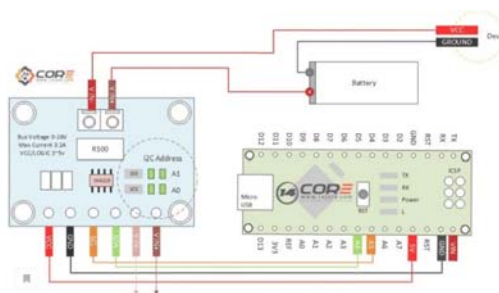


Рисунок 3.6 - Схема подключения литий-ионной батареи и датчика INA219 к микроконтроллеру

Собранная система зарядки литий-ионной батареи представляет собой соединенные между собой микроконтроллер ESP32, датчик INA219 и литий-ионной аккумулятор от сотового телефона (рисунок 3.7).

Данная система может питаться от USB-провода, подсоединенного к разъему ноутбука или же напрямую к любому другому источнику питания. Благодаря микроконтроллеру данные с датчика выводятся на монитор порта с указанным интервалом между измерениями. На основе полученных измерений строится график напряжения и тока, чтобы наглядно увидеть процесс заряда аккумулятора. Помимо этого данные напряжения и тока можно увидеть на приложении посредством соединения к микроконтроллеру через Bluetooth модуль.



Рисунок 3.7 - Система зарядки литий-ионной батареи

Полученные посредством конечной собранной модели данные были выведены на порт монитора (рисунок 3.8) и выстроены в график (рисунок 3.9):

```
Bus Voltage: 32.76 V
Shunt Voltage: -0.01 mV
Load Voltage: 32.76 V
Current: -0.10 mA
Power: -2.00 mW

Bus Voltage: 32.76 V
Shunt Voltage: -0.01 mV
Load Voltage: 32.76 V
Current: -0.10 mA
Power: -2.00 mW
```

Рисунок 3.8 - Полученные значения тока и напряжения

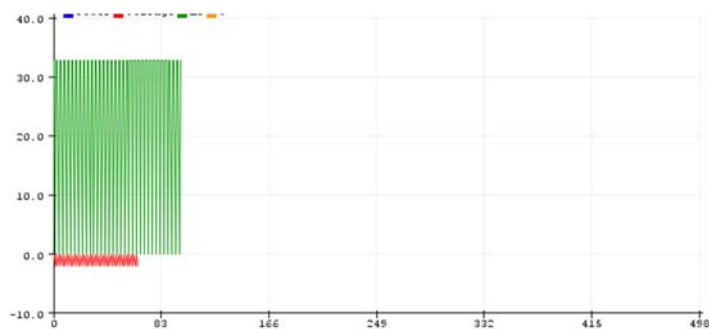


Рисунок 3.9 – График, построенный на основе полученных значений

В качестве среды программирования был выбран Arduino IDE, так как в работе был использован микроконтроллер ESP32.

Arduino IDE - программное обеспечение, позволяющее писать программы для платформы Arduino. Язык программирования плат Arduino базируется на языке C++. Код, используемый для программирования системы зарядки указан в приложении А.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном проекте был изучен стандартный метод заряда батареи, а также был проведен общий обзор по процессам, протекающим в аккумуляторе при заряде/разряде. Характеристики заряда зависят от тока заряда и разряда, качества зарядного устройства и условий эксплуатации.

В результате работы были решены такие задачи:

- Изучены процессы при поэтапном заряде-разряде аккумулятора;
- Сделана оценка влияния нестандартных методов заряда батареи на ее характеристики и свойства;
- Проведен анализ имеющихся систем зарядки аккумулятора и рассмотрены их эффективности;
- Приведена схема подключения датчика к микроконтроллеру;
- Собрана система зарядки литий-ионного аккумулятора и был построен график по полученным результатам;

В дальнейшем есть возможность осуществить более улучшения системы посредством повышения ее автономности для более успешного использования.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Румянцев А., Рыкованов А. Способы заряда Li-ion-аккумуляторов и батарей на их основе // Компоненты и технологии. 2012. № 11.
2. Рыкованов А. Системы баланса Li-ion аккумуляторных батарей // Силовая электроника. 2009. № 1.
3. Рыкованов А., Беляев С. Активные и пассивные системы баланса Li-ion аккумуляторных батарей // Компоненты и технологии. 2014. № 3.
4. Рыкованов А. Элементная база систем обеспечения функционирования Li-ion-аккумуляторов // Компоненты и технологии. 2012.
5. [http://www.kpi.kharkov.ua/archive/Articles/logistics/02\\_%D0%90%D0%A2%D0%B8%D0%9F\\_2016\\_1\(11\).pdf](http://www.kpi.kharkov.ua/archive/Articles/logistics/02_%D0%90%D0%A2%D0%B8%D0%9F_2016_1(11).pdf)
6. <http://shop.a-lisa.org/?product=modul-ina219-datchik-toka-i-napryazheniya-voltampermetr-s-protokolom-svyazi-i2c>
7. <http://digitrode.ru/articles/1803-zaryadnoe-ustroystvo-litij-ionnyh-akkumulyatorov-na-tp4056-svoimi-rukami.html>
8. <https://root-nation.com/featured/li-ionbattery-life> // Деградация литий-ионного аккумулятора и как продлить срок его службы
9. <https://www.duesenfeld.com/>
10. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
11. <https://best-energy.com.ua/>
12. Способы заряда Li-ion аккумуляторов и батарей на их основе. Журнал «Компоненты и технологии» № 11 за 2012 год., стр. 48–53
13. [http://www.motorpage.ru/magazine/news/problema\\_utilizacii\\_akkumuljatorov\\_jelektromobilej\\_mozhet\\_bit\\_reshena.html](http://www.motorpage.ru/magazine/news/problema_utilizacii_akkumuljatorov_jelektromobilej_mozhet_bit_reshena.html)
14. <https://www.rlocman.ru/shem/schematics.html?di=137845>
15. <https://smart-lab.ru/blog/408644.php>
16. <https://www.ixbt.com/news/2017/10/23/v-kitae-gotovjatsja-k-utilizacii-akkumuljatorov-jelektromobilej.html>
17. <http://www.biam-systems.ru/allnews/48-utilizatsiya-batareek-i-akkumulyatorov.html>
18. <http://www.kaztransoil.kz/doc/ru/1460.pdf>
19. <http://liotech.ru/newsection7159>
20. <https://spsystems.lv/blog/masterskaya/10-prostyx-sxem-zaryadok-litij-ionnyx-akkumulyatorov-i-kak-pravilno-zaryazhat.html>

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

```
#include "esp_system.h"
#include "MegunoLink.h"
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_INA219.h>
Adafruit_INA219 ina219;
TimePlot MyPlot;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  MyPlot.SetTitle("Sine and Cosine Function Waveforms");
  MyPlot.SetXLabel("Time");
  MyPlot.SetYLabel("Amplitude");

  MyPlot.SetSeriesProperties("Sinewave", Plot::Blue, Plot::Solid, 2,
Plot::Square);
  MyPlot.SetSeriesProperties("Cosinewave", Plot::Red, Plot::Solid, 2,
Plot::Square);

  ina219.begin();
}
void loop()
{
  double dY, dY2;
  for(;;){

float shuntvoltage = 0;
float busvoltage = 0;
float current = 0;
float loadvoltage = 0;
float power_mW = 0;

shuntvoltage = ina219.getShuntVoltage_mV();
busvoltage = ina219.getBusVoltage_V();
current = ina219.getCurrent_mA();
power_mW = ina219.getPower_mW();
loadvoltage = busvoltage + (shuntvoltage / 1000);
```

## ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

```
Serial.println("Bus Voltage: "); Serial.print(busvoltage); Serial.println(" V");
  Serial.println("Shunt Voltage: "); Serial.print(shuntvoltage); Serial.println("
mV");
  Serial.println("Load Voltage: "); Serial.print(loadvoltage); Serial.println("
V");
  Serial.println("Current: "); Serial.print(current); Serial.println(" mA");
  Serial.println("Power: "); Serial.print(power_mW); Serial.println("
mW");
  Serial.println("");
  dY = sin(busvoltage);
  dY2 = cos(current);
  MyPlot.SendData(F("Sinewave"),dY);
  MyPlot.SendData(F("Cosinewave"),dY2);
  delay(2000);
}

}
```