

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Конструирование и производство радиоаппаратуры»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА
Рецензент

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой КиПР

_____/_____/_____
« ____ » _____ 2020 г.

_____/_____/_____
Н.И. Войтович
« ____ » _____ 2020 г.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА
КОНТРОЛЯ И БАЛАНСИРОВКИ ЭЛЕМЕНТОВ
ПИТАНИЯ НА БАЗЕ LI-ION АККУМУЛЯТОРОВ
ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ-11.04.03.2020.598.00 ПЗ ВКР

Консультант

_____/_____/_____
" ____ " _____ 2020 г.

Руководитель от предприятия

Доцент

_____/_____/_____
" ____ " _____ 2020 г.

Руководитель от кафедры КиПР

Доцент

_____/_____/_____
" ____ " _____ 2020 г.

Автор работы

студент группы КЭ-412

_____/_____/_____
" ____ " _____ 2020 г.

Нормоконтролер

Аспирант кафедры КиПР

_____/_____/_____
" ____ " _____ 2020 г.

Челябинск 2020 г.

АННОТАЦИЯ

Пожиленков Л.Н. Проектирование устройства контроля и балансировки элементов питания на базе li-ion аккумуляторов. Челябинск: ЮУрГУ, ВШЭКН, 2020, 94с. Библиогр. список — 32 наим., 5 листов чертежей ф. А3.

В выпускной работе представлено устройство, предназначенное для слежения контроля и балансировки элементов питания на базе li-ion аккумуляторов.

Данное устройство может устанавливаться и использоваться в электротяговых установках, такие как электровелосипеды, электромотоциклы, электромобили. Также допускается использование в работе систем резервного электропитания, портативных установках. Использование устройства позволяет безопасно и эффективно хранить энергию при использовании литиевых батарей.

Основное назначение устройства — мониторинг состояния аккумуляторов, балансировка ячеек, защита элементов питания от короткого замыкания, перегрева, перезаряда.

Область применения:

- Автотранспорт;
- Электротяговые установки;
- Портативная техника;
- Системы резервного электропитания.

					<i>ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Пожиленков Л. Н.</i>			<i>Проектирование устройства контроля и балансировки элементов питания на базе li - i оаккумуляторов</i>	<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Получен.</i>		<i>Ершов А В</i>					6	94
<i>Реценз</i>						<i>ЮУрГУ Кафедра КуПР</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Юнгайтис Е. М</i>						
<i>Утверд.</i>								

Устройство решает следующие задачи:

- Мониторинг напряжения;
- Мониторинг потребляемого тока;
- Опрос датчиков контроля;
- Функция заряда;
- Функция балансировки;
- Индикация заряда ячеек;
- Отображение уровня выходного напряжения.

Цель работы — разработка принципиальной схемы устройства, конструктивного исполнения в соответствии с требованиями, выдвинутыми в техническом задании.

В процессе работы был проведен выбор элементной базы для построения устройства, разработана схема электрическая принципиальная, его конструкция, также произведен подбор литиевых источников питания для производства тестового образца.

Устройство выполнено на современной элементной базе.

					<i>ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док-м.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	10
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	12
2. АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ.....	14
2.1 Анализ технического задания.....	14
2.2 Устройства контроля.....	17
2.3 Степени защиты.....	19
2.3.1 Защита по току.....	20
2.3.2 Защита по напряжению.....	21
2.3.3 Защита по температуре.....	22
2.3.4 Защита от перезаряда.....	22
2.4 Конструктивные особенности и алгоритм заряда Li-ion.....	23
3. АНАЛОГИ ПРОЕКТИРУЕМОГО УСТРОЙСТВА.....	25
4 ПРОЕКТНЫЙ РАЗДЕЛ.....	32
4.1 Выбор элементов питания.....	32
4.2 Проверка элементов.....	38
4.3 Распределение элементов.....	43
4.4 Проектирование конструкции батареи.....	46
4.5 Выбор способа соединения элементов в ячейке.....	48
4.6 Соединительная шина элементов ячейки.....	49
4.7 Входной контроль никелевой ленты.....	52
4.8 Разработка креплений элементов.....	54
4.8.1 Левая кассета.....	55
4.8.2 Правая кассета.....	56
4.8.3 Изолятор.....	58
4.8.4. Сборка модели.....	58
5. СХЕМОТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	60
5.1 Разработка структурной схемы устройства.....	60

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.м.	Подпись	Дата		8

5.2	Разработка функциональной схемы устройства.....	61
6	РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА И ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ.....	62
6.1	Выбор микросхемы управления БСУ.....	62
6.2	Проектирование ЭПС платы балансировки.....	64
6.3	Проектирование ЭПС блока БСУ.....	65
6.4	Подбор элементной базы.....	66
6.4.1	Контроллер VM3451.....	66
6.4.2	Выбор транзистора управления силовых выводов.....	69
6.4.3	Выбор транзистора управления балансировкой	71
6.4.4	Выбор резистора балансировки	74
7.	КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ.....	75
7.1	Трассировка печатной платы.....	75
7.2	3D модель печатной платы.....	80
8.	ПРОИЗВОДСТВО ПРОБНОГО ОБРАЗЦА.....	81
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	85
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	86
	ПРИЛОЖЕНИЯ	
	ПРИЛОЖЕНИЕ А Сводная таблица элементов типа 18650 прошедших входной контроль.....	89

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании любого устройства, с заявленной функцией автономности, приходится уделять большое внимание аккумуляторному источнику электрического питания, который и будет обеспечивать указанную автономность, на определенный момент времени. К таким устройствам можно отнести различные гаджеты, бесперебойные источники питания, персональные компьютеры. Так же более массивные технические сооружения, такие как частный электротранспорт (В представлении электромобили, электромотоциклы, велосипеды и самокаты на электротяге), домашние мини электростанции, основанные на чистой энергетике. Как следствие одной из важнейших составляющих этого электрического оборудования, является аккумуляторная батарея, или, проще говоря, аккумулятор. Существуют самые разнообразные типы аккумуляторов: Li-Ion, Ni-MH, Ni-Cd и многие другие. Они имеют примерно одинаковый принцип работы, но у каждого свои особенности.

Из всех существующих видов аккумуляторов для портативной техники, автомобилей, прочего автономного электрооборудования, считают семейство литиевых аккумуляторов. Наиболее распространённым считаются Li-ion, он стоит значительно дороже своих Ni-MH и Ni-Cd аналогов. Объясняется это тем, что аккумуляторы с ионами лития не имеют тех недостатков, которыми обладают те женикелевые, свинцово— кислотные аккумуляторы и другие типы морально устаревших модификаций батарей. Хотя устройства такого вида, равно как и все существующие устройства, все же не лишены своих слабых сторон, причем действительно существенных [1]. Среди главных недостатков литиевых батарей можно выделить:

- Чрезмерную чувствительность к низким температурам, из-за чего уменьшается ток, отправляемый li-ion батареями;
- Деградация или по— другому уменьшение ёмкости с каждым годом;

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.м.	Подпись	Дата		10

— Li-ion аккумуляторы не выдерживают глубокого разряда и перезарядки, в противном случае процесс заряда — разряда может закончиться химическим разрушением, потери ёмкости или даже взрывом прибора;

— Особый алгоритм зарядки.

При всех минусах, не стоит упускать явные преимущества аккумуляторов, среди них:

- Большая плотность энергии на единицу массы;
- Низкий процент саморазряда;
- Практически полное отсутствие эффекта памяти (когда заряд не полностью разряженного элемента приводит к снижению ёмкости);
- Большой температурный диапазон работы.

Незначительное снижение напряжения в процессе разряда накладывает некоторые обязанности на пользователя. Нельзя допустить превышения максимального напряжения (4.25 В), снижение напряжения ниже минимального (2.75 В), а также превышения рабочего тока, который отличается для каждой модели. В данном весьма сложном процессе, используют специальные устройства — BMS — контроллеры!

В переводе с английского, BMS (Battery Management System) это система управления батареей. Довольно широкое понятие, описывающее почти все устройства, так или иначе обеспечивающие корректную работу аккумуляторов в данном устройстве, начиная с простых плат защиты или балансировки, заканчивая сложными микроконтроллерными устройствами, подсчитывающими ток разряда и количество циклов заряда (например, как в батареях ноутбуков).

Поскольку самый распространенный на сегодняшний день тип аккумуляторов Li-ion, то в данной работе будет совершен упор именно на этот тип батарей. Рассмотрим основные принцип работы систем управления литиевыми аккумуляторными батареями, алгоритмы заряда, а также произведем аналитику устройств управления, предоставляемых рынком. При изучении и соотношении

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док-м.	Подпись	Дата		11

основных параметров, стоит обратить внимание на качество исполнения приборов, соответствию стандартов защиты от влаги и пыли, виброустойчивой, максимальных токов, расширяемости и степеням защиты.

1. Обзор литературы

В книге [1] «Источники энергии» автор Лаврус В.С. Подробно описан вопрос проектировки зарядных устройств, какими критическими характеристиками должен обладать, как и самое простое зарядное устройство, так и более сложные устройства заряда.

Также рассмотрены принципы и основные аспекты при построении систем бесперебойного электропитания.

Статья [2] «Li-ионакумуляторы», автора Владимира Васильева, подробно описывается строение литиевых аккумуляторов, их зависимости к материалам изготовления. Подробно описана логика заряда. Затронут факт плотности энергии Li-ion аккумуляторов, вдвое превышающий плотность энергии других типов. Поднят вопрос о перспективе будущего литиевых батарей, достижения трехкратного превосходства над современными образцами аккумуляторов, благодаря применению новых активных материалов.

В книге [3] «Системы баланса Li-ion аккумуляторных батарей» Рыкованов А. С. Представлено описания необходимости балансировки (нивелировать) напряжения на Li-ion аккумуляторах в батарее. Подробно описывается внутренние переходные процессы аккумуляторных батарей.

В [4] статье Рыкованов А. С. «Элементная база систем обеспечения функционирования Li-ion аккумуляторов», представлены схемотехнические решения, а также примеры разработки устройств для контроля и балансировки литиевых сборок. Также рассматриваются основные характеристики представленных готовых решений BMS; представлены рекомендации по выбору BMS для различных применений; анализируются вопросы устойчивости и стабилизации их параметров.

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.им.	Подпись	Дата		12

В [5] статье Рыкованов А. С. «Способы балансирования портативных Li-ion аккумуляторных батарей», приведено подробное описание элементной базы плат балансировки, представлены схмотехнические решения, а также примеры разработки устройств для контроля и балансировки литиевых сборок. Информация донесена до читателя доступным языком, без употребления сложной терминологии.

В статье [6]. Румянцев А.Г и Рыкованов А. С. «Способы заряда Li-ion аккумуляторов и батарей на их основе» описаны особенности эксплуатации аккумуляторов, их применение в готовых устройствах, и во вновь создаваемых изделиях. Рассмотрены способы заряда аккумуляторов, методы и последовательность проверки литиевых элементов на работоспособность.

В статье [7], «Использование балансировки элементов в мощных Li-Ion аккумуляторах» Робина Тихи, рассмотрены проблемы проектировки сборок литиевых аккумуляторов больших размеров. Рассмотрены вопросы контроля температуры и напряжения сборок. Способы дополнительной защиты, теплоотвода и корректной балансировки элементов.

В книге [8], Евстифеев А.В., «Микроконтроллеры AVR, фирмы ATMEL» рассмотрено практическое применение микроконтроллеров AVR семейства Tiny и Mega фирмы ATMEL. Также рассмотрены особенности архитектуры, приведены основные электрические параметры. Подробно описаны система команд, периферия, а также способы программирования. Подробно описано внутреннее устройство микроконтроллеров, система команд, периферия, а также способы программирования с примерами реализации некоторых алгоритмов для конкретных цифровых устройств.

Книга [9], Ревич Ю.В. «Практическое программирование микроконтроллеров Atmel AVR», автором изложены основные принципы функционирования и особенности архитектуры микроконтроллеров Atmel AVR. Подробно описаны приемы программирования микросхем этого семейства и их отдельных узлов. Вы найдете готовые рецепты для программирования большинства основных функций современной микроэлектронной аппаратуры: от

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.им.	Подпись	Дата		13

реакции на нажатие кнопки или построения динамической индикации до сложных протоколов записи данных во внешнюю память или особенностей подключения часов реального времени. В книге учтены особенности современных моделей AVR и сопутствующих микросхем последних лет выпуска. Особое внимание уделяется обмену данными микроэлектронных устройств с персональным компьютером, приводятся примеры программ на Delphi.

В книге [10] Белов А.В., «Разработка устройств на микроконтроллерах AVR», представлены примеры по разработке устройств и программ, отладки и тестирования. Также рассматриваются вопросы проектирования печатных плат и различные конструкции печатного монтажа, приводятся их сравнительные характеристики, рекомендации по выбору, расчету и конструированию печатных плат.

2. Анализ требований технического задания

2.1 Анализ технического задания

Зачастую существует острая необходимость, при проектировании какого-либо устройства, в обеспечении питания и ёмкости намного превосходящие номинальные характеристики одного аккумулятора. У этой проблемы есть вполне простое решение, это каскадное объединение аккумуляторов последовательно для увеличения напряжения или параллельно для увеличения ёмкости. Так же допускается совмещение обоих типов объединений, для одновременного расширения ёмкости и напряжения.[5] С первого взгляда проблема несоответствия устройства и питания решена, и оно было бы так при использовании аккумуляторов на основе никеля, но если мы используем источник питания на основе лития, как в нашем случае, то появляется другая проблема, а конкретно поддержание такой сборки в работоспособном состоянии при использовании последовательного соединения[8]. Как известно при заряде аккумуляторов последовательно, заряд протекает неравномерно, и какие-то элементы сборки

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док-м.	Подпись	Дата		14

могут получать заряд сверх меры, а какие-то зарядиться не до конца, а литий очень чувствителен к таким моментам. Получается дисбаланс напряжений между ячейками, который может негативно повлиять на работоспособное состояние элементов сборки, усиленной деградации, а также в некоторых случаях к физическому разрушению целостности оболочки аккумулятора с последующим возгоранием. Не стоит упускать из виду, что даже использование одного литиевого аккумулятора без защиты недопустима, из-за его строгих требований к эксплуатации, такие аккумуляторы называются незащищенными, а устройства построенные с игнорированием защиты небезопасными. Именно поэтому, с учётом вышеизложенных проблем были разработаны различные системы контроля отдельно работающих аккумуляторов и системы управления сборками батарей.

Система управления или плата контроля (В случае использовании одного аккумулятора), это электронная система, которая управляет заряд/разрядным процессом аккумуляторной батареи, отвечает за безопасность её работы, проводит мониторинг состояния батареи, оценку вторичных данных работоспособности. Подобное устройство контроля и управления называют BMS (Battery ManagementSystem).

Устройство представляет собой электронную плату, которая ставится на аккумуляторную батарею с целью контроля, а конкретно заряда/разряда, мониторинга состояния аккумулятора и его элементов, контроля температуры, количества циклов заряда/разряда, защиты составных аккумуляторной батареи.

Система управления и балансировки обеспечивает индивидуальный контроль напряжения и сопротивления каждого элемента аккумулятора, распределяет токи между составной аккумуляторной батареи во время зарядного процесса, контролирует ток разряда, определяет потерю емкости от дисбаланса, гарантирует безопасное подключение/отключение нагрузки.

Наименование устройства, представленного к разработке: батарейной системы управления элементов питания на базе li-ion аккумуляторов. Устройство предназначено для контроля разрядных и зарядных процессов батарейной сборки литиевых аккумуляторов. Устройство предусматривается использовать в каскаде

											Лист
											15
Изм.	Лист	№ док-м.	Подпись	Дата	ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ						

блоков аккумуляторных батарей, подключённых к модулю управления. Модуль управления обладает следующим набором функций: совмещение аккумуляторных сборок, от 2-х до 8 штук, режимы переключения модуля управления на увеличение ёмкости с понижением напряжения или увеличением напряжения с уменьшением ёмкости. Управление модулем управления (МУ) осуществляется микроконтроллером. Устройством батарейной системы управления (БСУ) производится постоянный мониторинг состояния аккумуляторов, балансировку ячеек, защищает элементы питания от короткого замыкания, перегрева, перезаряда. МУ контролируют позицию включения сборок, количество сборок, также на выходе каскада сборок, фиксируются напряжение, ток, температура каждого элемента каскада. В случае неисправностей МУ производит отключение нагрузки от питания.

Устройство предназначено для упрощенной работы со сборками литиевых аккумуляторов, повышению надёжности эксплуатации, а также появлению альтернативы зарубежным устройствам.

Изделие используется для электротяговых установок, такие как электровелосипеды, электромотоциклы, электромобили. Также допускается использование в работе систем резервного электропитания, портативных установках. Устройство предоставит возможность безопасного и эффективного хранения энергии при использовании литиевых батарей.

Устройство должно соответствовать компактному физическому расположению сборочных единиц li-ion аккумуляторов, обеспечивать простоту эксплуатации.

Сборка АКБ (включая БСУ) представляет законченное устройство, готовое к использованию, не требующие дополнительных настроек. Состоит из нескольких сборок по 64 аккумулятора (тип 18650) и платы BMS в каждой сборке. Аккумуляторы в одной сборочной единице содержат 4 ячейки соединенных последовательно. В каждой ячейке 16 штук аккумуляторов, соединенных параллельно.

						<i>Лист</i>
					<i>ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ</i>	<i>16</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док-м.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Рассмотрим основные характеристики и виды, приборов контроля. Также разберем алгоритм заряда литиевых аккумуляторов.

2.2 Устройства контроля

Устройства контроля условно можно разделить на четыре категории:

- Балансиры;
- Защиты (по току, напряжению);
- Платы, обеспечивающие заряд;
- Комбинации вышеперечисленных вариантов, вплоть до объединения всего в одно устройство.

Балансиры – это отдельные устройства, в основном аналогового управления, различают активные и пассивные балансиры. Активные балансиры производят балансировку уже при зарядке – зарядив одну ячейку сборки, они отключают её от питания, продолжая заряжать вторую, перенаправляя на менее заряженные ячейки больший ток. [3] Принципиальная схема активного балансира представлена на рисунке 2.1

Рисунок 2.1— Принципиальная схема активного балансира

					<i>ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док-м.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		17

Пассивные балансиры, наоборот, разряжают элементы до одного значения малыми токами через резисторы, или диоды. Их основной плюс – они не требуют внешнего питания, а также являются более точными за счёт применения аналоговых комплектующих. Принципиальная схема пассивного балансира, с регулировкой максимального напряжения ячейки, представлена на рисунке 1.2. Балансиры могут использоваться как отдельное устройство, с непосредственным включением в цепь.

Рисунок 2.2— Принципиальная схема пассивного балансира

Так же стоит выделить устройства, отвечающие за заряд, очень важный блок в плате управления. Позволяет заряжать аккумулятор, без лишних проблем, простой подачей необходимого напряжения на клеммы аккумулятора. Исполняется в виде отдельной платы, обеспечивающей заряд, в основе которой лежит специализированный контроллер заряда.

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док-м.	Подпись	Дата		18

Так же возможна универсальная комбинация, объединяющая все в одно устройство, то есть реализация блока балансировки, под управлением контроллера заряда аккумулятора. Это значительно упрощает конструктив, размеры и надежность устройства. Внешний вид платы BMS, основанной на контроллере заряда, с управляемой пассивной балансировкой, для литиевых аккумуляторов, представлен на рисунке 2.3.

Рисунок 2.3 –BMS на основе контроллера заряда и балансировки для Li-Ion АКБ

2.3 Степени защиты

Как известно, литиевые аккумуляторы, при неправильной эксплуатации очень опасны. Следует в режиме реального времени производить мониторинг состояния ячеек аккумулятора.

Необходимо фиксировать рабочий ток, ток заряда, выходное напряжение аккумулятора, напряжение каждой ячейки в сборке, температуру ячеек.

На основе получаемых измеряемых характеристик аккумулятора, BMS выполняет балансировку заряда ячеек. Производится защита аккумулятора от

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.м.	Подпись	Дата		19

короткого замыкания, перегрузки по току, перезаряда, глубокого разряда (высокого и чрезмерно низкого напряжения каждой ячейки), перегрева и переохлаждения.

Функциональность BMS позволяет не только улучшить режим эксплуатации аккумуляторных батарей, но и максимально увеличить срок их службы. При определении критического состояния батареи BatteryManagementSystem соответственно реагирует, выдавая запрет на использование аккумуляторной батареи в электросистеме — отключает её. В некоторых моделях BMS предусмотрена возможность ведения реестра (записи данных) о работе аккумуляторной батареи и их последующей передаче на компьютер.

Стоит учесть тот факт, что чем функциональней и разветвлённей является защита – тем больше ресурс работы аккумулятора. Можно выделить основные виды защиты:

- Защита от короткого замыкания;
- Защита по току;
- Защита по напряжению;
- Защита по температуре;
- Защита от перезаряда.

Рассмотрим более подробно виды защит и принцип их работы.

2.3.1 Защита по току

Перегрузка аккумулятора, а также короткое замыкание (КЗ), ведёт к непосредственному разрушению элемента. Именно поэтому существует защита по току от КЗ или перегрузок по току. Схема этой защиты реализуется очень просто, рассмотрим её на базе микросхемы DW01. Принципиальная схема подключения защиты представлена на рисунке 2.4.

За всеми процессами следит уже упомянутая выше микросхема DW01. Рядом наблюдается сборка из двух полевых транзисторов. Первый транзистор разомкнет

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док-м.	Подпись	Дата		20

цепь при повышении максимально допустимого рабочего тока при эксплуатации, второй отвечает за управление зарядом батареи [4].

Во время разряда микросхема следит за падением напряжения на переходах полевых ключей, если оно доходит до критической величины (150— 200мВ), микросхема закрывает транзисторы, отключая батарею от нагрузки. Работа схемы восстанавливается менее чем за секунду после того, после снятия нагрузки.

Падение напряжения на переходах транзисторов микросхема отслеживает через второй вывод.

В зависимости от емкости аккумулятора эти контроллеры могут кардинально отличаться внешним видом, током короткого замыкания и топологией схемы, но функция у них всегда одинаковая — защищать аккумулятор от перезаряда, глубокого разряда и перегрузки по току.

Рисунок 2.4 — DW01 — Р

Рассмотренный вариант защиты не является единственным, и защита по току реализуется при проектировке контроллеров управления плат BMS.

2.3.2 Защита по напряжению

С этой защитой разобаться проще, так как измерение напряжения легко можно сделать, используя аналогово— цифровой преобразователь. Но и тут

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.им.	Подпись	Дата		21

присутствуют свои нюансы, стоит отметить, что если контроллер с защитой больших объёмов аккумуляторов, из последовательно соединённых аккумуляторов, то обычно он меряет напряжение каждой банки персонально, так как ввиду мельчайших различий в элементах они имеют мельчайшие же различия по ёмкости, что выливается в неравномерный разряд и возможность высадить «в ноль» отдельный элемент.

Некоторые системы не подключают нагрузку, не дождавшись окончания заряда аккумулятора, до определённого напряжения, то есть недостаточно подзарядить элемент пару минут, чтобы он поработал ещё хоть малое время – обычно необходимо зарядить до номинального напряжения (3.6 – 4.2В, в зависимости от типа аккумулятора).

2.3.3 Защита по температуре

Редко встречается в современных устройствах, но нельзя игнорировать данный параметр. Обычно перегрев, не наступает сам собой и раньше успевают сработать другие виды защиты – например, перегрев может быть вызван коротким замыканием, при перезарядке элемента, при различном внутреннем сопротивлении ячейках. Всё это может повлечь за собой взрыв или возгорание элементов питания. Так же данный фактор негативно сказывается на способности аккумулятора запасать энергию. Допустимая температура эксплуатации Li-Ion аккумуляторов – от -20 до +50 °С (у некоторых моделей – от -40 °С)

Именно по этому факту, большинство аккумуляторов для телефонов оборудовано третьим контактом – это и есть вывод терморезистора, резистора, имеющего чёткую зависимость сопротивления от окружающей температуры.

2.3.4 Защита от перезаряда

Защита, предотвращающая перезаряд ячейки сборки литиевого аккумулятора. Как известно, перезаряд аккумулятора крайне нежелателен. В большинстве случаев,

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.им.	Подпись	Дата		22

номинальное напряжение одного аккумулятора, и как следствие одной ячейки составляет 4.1 — 4.2 вольта. При перезаряде происходит обильное выделение тепла, что несет за собой химическое разрушение составных компонентов литиевых аккумуляторов, что ведет к стремительной деградации аккумулятора. Также создается опасность возгорания и взрыва ячейки.

2.4 Конструктивные особенности и алгоритм заряда Li-ion

Разрабатываемое устройство предполагается использовать на Li-ion типе аккумуляторов, прежде чем производить разбор конструктивных особенностей необходимо ознакомиться непосредственно с конструкцией и особенностями эксплуатации элементов питания, а конкретно разобрать процесс зарядки.

Итак, li-ion аккумуляторы производят как в корпусном (например, типоразмера 18650), так и в ламинированном исполнении (гель— полимерные), электроды и электродные массы которых помещены в герметичный пакет из специальной пленки[2]. Электрохимические процессы протекают одинаково как в тех, так и в других, и все, сказанное ниже, в равной степени относится ко всем аккумуляторам вне зависимости от их исполнения.

Рассмотрим классический способ заряда Li-ion аккумулятора, делится он на два этапа [6]. Первый — это заряд постоянным током, второй — заряд при постоянном напряжении, график заряда представлен на рисунке 2.5.

Рисунок 2.5— Этапы заряда Li-ion аккумулятора

										Лист
										23
Изм.	Лист	№ док.м.	Подпись	Дата	ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ					

(включающее в себя несколько составляющих — омическую, диффузионную и т. д.). Падение напряжения на внутреннем сопротивлении при большом токе заряда приведет к более быстрому достижению конечного зарядного напряжения. При достижении конечного напряжения заряд перейдет ко второму этапу — падающему току при постоянном напряжении. За оставшееся время 10–15 мин. аккумулятор «наберет» еще 0,1–0,15Сн, что в сумме составит не более 0,85–0,95Сн

Второй этап — заряд при постоянном напряжении и падающем токе. Ток на этом этапе падает до определенного значения. Например, процесс считается завершенным при установлении тока заряда менее 0,1–0,05Сн. Как было показано выше, продолжительность фазы падающего тока зависит от тока заряда. Для номинального режима заряда (0,2Сн) она длится обычно не более нескольких десятков минут, при этом аккумулятор набирает до 0,1–0,15Сн. Время заряда падающим током также зависит от степени деградации аккумулятора в процессе эксплуатации (иначе говоря, от срока службы и количества циклов заряд/разряд). Чем больше деградация, тем длиннее фаза падающего тока.

После окончания заряда напряжение на аккумуляторе падает на 0,05–0,1 В, приходя к своему равновесному состоянию.

3. Аналоги проектируемого устройства

В настоящее время рынок заполнен различными типами BMS, в основном китайской разработки и производства, реализованные как простые пассивные балансиры, балансиры с контроллером заряда, микроконтроллерные платы управления, и.т.д. Рассмотрим самые популярные приборы контроля и мониторинга, предлагаемые рынком на сегодняшний день.

Первым рассмотрим пассивный балансир, китайского производства BW-3SJH. Устройство рассчитано на сборку из трёх li-ion аккумуляторов (3S), с максимальным током в 25А. С реализацией защиты от короткого замыкания, глубокого разряда, с функцией балансировки. Также представленное устройство не

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док-м.	Подпись	Дата		25

имеет контроллера заряда и требует дополнительного устройства, для контроля тока и времени заряда. Фото BMS представлено на рисунке 3.1.

Рисунок 3.1 – BMS 3S 25A

В следующей плате JVS4-3, реализован более широкий функционал управления Li-Ion батареями, а конкретно пропускная способность рассчитана на большие токи, расширяемость с 2S до 5S, микроконтроллерное управление и возможность заряжать батарею без дополнительных устройств в виде контроллеров заряда. Фото JVS4-3 представлено на рисунке 3.2. Ознакомимся с основными характеристиками устройства:

— BMS 4S 14,4 V 40A;

— Защита от перезаряда аккумуляторной батареи в одной камере
напряжение: 3,61— 3,69 в

— Напряжение зарядки: $3,6 \text{ В} * 4 = 14,4 \text{ В}$;

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.им.	Подпись	Дата		26

- Защита от избыточного заряда аккумулятора от одного элемента напряжения: 3,61— 3,69 в;
- Защита от избыточного заряда аккумулятора от одного элемента напряжения: 3,61— 3,69 в;
- Задержка защиты от перезаряда: 1,5— 2,5 S;
- Защита от глубокого разряда аккумулятора одной ячейки напряжение: 2,27 — 2,43 в;
- Восстановленное напряжение: 2,45— 2,6с.

Рисунок 3.2 – BMS 5S 100A

Далее ознакомимся с более дорогостоящим и сложным устройствами — smartBMS. В последние годы популярность обрели так называемые "разумные" аккумуляторы, или иными словами Smartbatteries. Аккумуляторы этой группы оснащаются микропроцессором, способным не только обеспечивать обмен данными с зарядным устройством, но и регулировать работу аккумуляторных батарей, информировать пользователя о степени их работоспособности. Аккумуляторы, комплектуемые специализированной системой интеллектуального регулирования, находят широкое применение в самом разном техническом электрооборудовании, включительно и электротранспортном [7]. Примечательно,

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.им.	Подпись	Дата		27

что группу интеллектуальных батарей образуют преимущественно литийсодержащие аккумуляторы, хоть и встречаются среди них герметизированные или вентилируемые свинцово— кислотные, никель— кадмиевые.

Разумные батареи, как минимум, на 25% дороже обычных аккумуляторов. Однако интеллектуальные аккумуляторы отличаются не только ценой, как большинство предполагает, но и особенностями прилагаемого к ним регулировочного устройства.

Рисунок 3.3 – SmartBMS

Последнее гарантирует идентификацию типа аккумуляторных батарей с зарядным устройством, отслеживает температуру, напряжение, ток, степень заряда аккумуляторов. Значительная часть Li-ionбатарейных модулей имеет встроенную систему мониторинга и управления (BMS), которая отвечает за состояние

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док-м.	Подпись	Дата		28

Рисунок 3.4 – SmartBMS 2

- Изучим основные характеристики прибора, заявленные производителем:
- Поддержка от 8 до 24 ячейки любого типа: ternary, li-ion, Li-po, li-fero;
 - Минимальное и максимальное напряжение 24 V— 150 V;
 - Монохромный дисплей. Отображение реального состояния батареи, напряжение каждой ячейки сборки;
 - Измерение тока в пределах 300А;
 - Поддержка смартфонов на базе Android, для установки различных параметров батареи;
 - Определение работы двигателя, возможность рассчитать оставшийся пробег;
 - Измерение температуры, защита от перегрева;
 - Размер контроллера 15,5 см x 7 см x 2,5 см.

Данное устройство обладает гибкостью и универсальностью, но опираясь на отзывы эксплуатации, можно отметить низкое качество сборки, сбои в программном обеспечении, а также низкую защиту микроконтроллера и силовых

					<i>ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док.м.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>30</i>

ключей при финальной сборке. Внешний вид smartBMS 24S 300A представлен на рисунке 3.5.

Рисунок 3.5. —SmartBMS 24S 300A

Как мы можем наблюдать, выбор контроллеров очень велик и под любые нужды, напряжения и токи можно подобрать необходимый контроллер. Но, к сожалению, стоит отметить отсутствие необходимой документации о защите прибора от внешних факторов и воздействий, таких как вибрации, защищенность от пыли и влаги, стойкость к максимальным нагрузкам. Стоит отметить сомнительное качество у большинства устройств. Кроме того, в прямом в доступе отсутствуют контроллеры российского производства, основанных на отечественной элементной базе.

Как следствие можно выделить факт о проблематичности решения вопроса при конструировании надёжного устройства на основе аккумуляторных батарей, с отсутствием прибора контроля соответствующего качества, предоставляющий гибкость в расширении, в совместимости современных электронных устройств.

					<i>ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док-м.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		31

4. Проектный раздел

4.1 Выбор элементов питания

Приступим к определению общей формы аккумуляторной сборки, а также к выбору составляющих её элементов питания, исходя из требований технического задания.

Рассмотрим существующие исполнение корпусов литиевых аккумуляторов. В настоящее время широко распространены три исполнения корпусирования элементов питания на основе лития:

- Корпус представляет оболочку из ламинированной фольги;
- Призматические корпуса;
- Цилиндрический корпус.

Корпуса из ламинированной фольги, получил широкое распространение в связи с появлением полимерных источников питания. Внешний вид аккумуляторов в корпусе из ламинированной фольги представлен на рисунке 4.1. В конструкции электролит представляет собой полимер с добавлением гелиевого вещества, содержащего ионы лития.

Рисунок 4.1 — Внешний вид аккумуляторов в корпусе из ламинированной фольги

					<i>ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док-м.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		32

Неприятная особенность конструкции данного типа аккумуляторов, это склонность к деформации корпуса при активном использовании и естественной деградации. Деформация проявляется как раздутие корпуса из-за протекания внутренних химических реакций, которые сопровождаются выделением газа и повышением внутреннего давления элемента, в связи с чем корпус аккумулятора деформируется (Рисунок 4.2).

Рисунок 4.2— Внешний вид деформированного аккумулятора

Кроме того корпуса из ламинированной фольги имеют мягкий корпус, не устойчивы к повреждению, также при вздувании аккумуляторы часто повреждают устройство, в котором использовались. Данный тип корпуса не подходит для использования в экстремальных условиях, больше подходит для использования портативной техники.

Следующий тип, который будет рассмотрен, это призматические корпуса. Внешний вид исполнения призматического корпуса литиевой батареи представлен на рисунке 4.3.

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док-м.	Подпись	Дата		33

Рисунок 4.3—Призматические корпус

Призматические литиевые аккумуляторные батареи выпускаются:

- С контактными площадками под винтовое соединение;
- С контактными площадками под контактную сварку.

Аккумуляторы в призматических корпусах часто используются для обеспечения питанием велосипедов для электротяги. Данный тип устойчив к внешним физическим воздействиям, надёжен в эксплуатации. К минусам можно отнести труднодоступность, большой вес и высокую стоимость одного элемента.

Следующим типом аккумулятора, будет разобранный – цилиндрический. Приведенный тип широко используется в бытовой технике и портативной электронике. Особенной популярностью пользуются аккумуляторные элементы с номером модели — 18650.

Аккумуляторы исполнены в цилиндрическом стальном корпусе, также оснащены дренажным клапаном что не позволяет произойти деформации корпуса в случае нарушения протекания внутренних химических процессов с выделением газа и последующим повышением внутреннего давления элемента, как у аккумуляторов в корпусе из ламинированной фольги. Конструкция электродов в

					<i>ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док.м.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		34

цилиндрическом корпусе всегда рулонного типа. К недостаткам относят низкое теплоотведение.

Цилиндрические литиевые аккумуляторы в большинстве случаев имеют следующие контактные площадки:

- Винтовые;
- Обычные (Плоские) контактные площадки.

Плоские выводы питания, идеально подходят для сварки, удобны в эксплуатации.

В батареях с высокими требованиями к съёму тока, используются винтовое соединение. Это АКБ с большим разрядным током и большой ёмкостью (более 20 Ач). Многочисленные испытания показывают, что цилиндрические литиевые аккумуляторы с винтовыми соединениями выдерживают большие токи, но не более 11–17 кратковременной нагрузки. При постоянной работе, выдерживают разрядные токи 3–4С.

В подведении итогов рассмотрения аккумуляторов, выделяются цилиндрический тип. Эти батареи устойчивы к внешним воздействиям, удобны в эксплуатации и имеют невысокую стоимость. Остановимся на представленном типе аккумуляторов для выполнения работы. Форматы Li-ion элементов зашифрованы в маркировке, нанесенной на корпус изделия. Она включает в себя пять цифровых значений, где:

- Первые две цифры указывают на диаметр ячейки (в мм);
- Последующие две цифры – это длина (в мм);
- Последний символ определяет форму элемента питания.

Цилиндрические элементы питания имеют различные характеристики в соотношении формы и размера. Рассмотрим сводную таблицу, включающую в себя приблизительные характеристики элементов. Таблица параметров представлена, на рисунке 4.5. Внешний вид элементов питания представлены на рисунке 4.6.

					<i>ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док-м.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		35

Рисунок 4.5 – Семейство цилиндрических аккумуляторов

Model	Nominal Voltage(V)	Nominal Capacity(mAh)		Cell Size(mm)		Charge&Discharge		Weight(g)
		Typical	minimum	Diameter (±0.2)	Height (±0.5)	Charge Current	Discharge Current	
14430	3.7	650	600	14	42.5	0.5C	1C	17
14500	3.7	800	700	14	48.5	0.5C	1C	20
14650	3.7	1100	1050	14	64.5	0.5C	1C	24
17280	3.7	600	550	17	27.5	0.5C	1C	15
17335	3.7	700	650	17	33.5	0.5C	1C	18
17500	3.7	1050	1000	17	48.5	0.5C	1C	27
17650	3.7	1250	1200	17	64.5	0.5C	1C	37
18500	3.7	1400	1350	18.3	48.5	0.5C	1C	34
18650	3.7	1800	1800	18.3	64.5	0.5C	1C	45
18650	3.7	2000	1950	18.3	64.5	0.5C	1C	45
18650	3.7	2200	2150	18.3	64.5	0.5C	1C	45
18650	3.7	2400	2300	18.3	65.5	0.6C	2C	45
26650	3.7	3200	3100	26	64.5	0.5C	1C	65
18650D	3.7	1400	1300	18.3	64.5	1C	10~20C	32.5
18650TD	3	1300	1200	18.3	64.5	1C	3~5C	43
18650TD	3	1100	1000	18.3	64.5	1C	10C	40
18740TD	3	1600	1500	18.3	64.5	1C	10C	45
17500TD	3	700	650	17	48.5	1C	10C	35
18500TD	3	900	850	18.3	48.5	1C	10C	37
26650TD	3	2400	2300	26.3	64.5	1C	10C	83
32650TD	3	3800	3700	32.3	64.5	1C	10C	132

Рисунок 4.6 — Типоразмер литиевых аккумуляторов.

Опираясь на данные из таблицы, выбираем наиболее удовлетворяющий требованиям технического задания тип аккумуляторной батареи. Остановимся на типе 18650, т. к. в этом устройстве присутствует сочетание компактных размеров и высокой энергоёмкости, также это самый распространенный вид литиевых аккумуляторов. Корпус таких размеров хорошо зарекомендовал себя за многие годы использования в технике. 18650 широко используется в ноутбуках, мобильных зарядных устройств, портативных колонках, также в электротранспорте. К примеру, можно привести автомобильные батареи компании «Тесла», в сборках используются подобные элементы питания (Рисунок 4.7).

Рисунок 4.7— Использование аккумуляторов 18650 в автомобильных батареях компании "TESLA"

					<i>ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док-м.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		37

4.2 Проверка элементов.

Для производства опытного образца желательно выбрать изделия российского производства, но к сожалению розничный закуп недоступен. При изготовлении будем использовать самый доступный вариант — китайские элементы бывшего употребления, из повербанков и аккумуляторов ноутбуков.

Необходимо произвести входной контроль аккумуляторных батарей перед использованием, это касается и новых и элементов бывшего употребления. Стоит обратить внимание, что брак присутствует везде и один бракованный элемент может в лучшем случае вывести из строя ячейку сборки, способствуя деградации аккумуляторов ячейки, в худшем случае способствует перегреву элемента, взрывом и пожаром.

Входной контроль будем производить по двум основным параметрам литиевых элементов, это ёмкость и внутреннее сопротивление [25].

Оба параметра крайне важны. Внутреннее сопротивление забирает на себя часть ЭДС и ограничивает тоотдачу. Так как это сопротивление зависит еще от тока то лучше смотреть сопротивление в паспорте или делать замеры при токе, котором планируется эксплуатация устройства [27].

Произведем тестовый замер внутреннего сопротивления и ёмкости элемента питания 18650, производителя SAMSUNG, с маркировкой: "SAMS SDI/ICR18650-22F/1A24". По представленной производителем информации, проверяемое изделие имеет следующие характеристики (Таблица 1).

Для изменения сопротивления, будем использовать метод постоянного тока [26]. Разряд аккумуляторной батареи должен быть произведен постоянным током $I_1 = 0.2I_t$ А. На 10-й секунде разряда должно быть измерено и зарегистрировано под нагрузкой разрядное напряжение U_1 . Затем произвести увеличение разрядного тока, до значения $I_2 = 1,0 I_t$ А, и на 1 с разряда должно быть измерено и зарегистрировано соответствующее ему напряжение батареи под нагрузкой U_2

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.им.	Подпись	Дата		38

Таблица 1 — Характеристики SAMSSDI/ICR18650-22F/1A24

Наименование	Показатели	Единицы измерения
Номинальное напряжение	3.7	Вольт
Напряжение MAX	4.2	Вольт
Ток заряда MAX	2,2	Ампер
Ток разрядаMAX	4.4	Ампер
Ток разряда std.	2,2	Ампер
Ток заряда std.	1,1	Ампер
Температура заряда	-10 ... 50	°С
Температура эксплуатации	-20 ... 70	°С
Номинальная емкость	2800	mAh

Внутреннее сопротивление $R_{d,c}$ Ом, рассчитывают по формуле1.

$$R_{d,c} = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} \quad (1)$$

Где: U_1, U_2 — Напряжения, зафиксированные во время разряда, В;

I_1, I_2 — постоянный ток разряда А.

Произведем замеры тока и напряжения, используя разные сопротивления, собрав схему, представленную на рисунке 4.8.

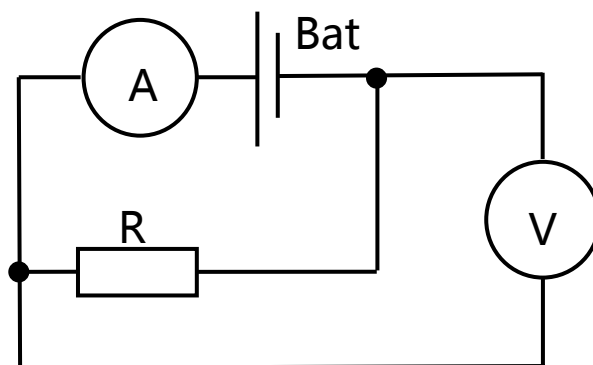


Рисунок 4.8 – Схема проверки внутреннего сопротивления литиевого источника питания

Изм.	Лист	№ док.м.	Подпись	Дата

ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ

Лист

39

В результате измерений получаем следующие значения:

$$R_1 = 24.3 \text{ Ом};$$

$$R_2 = 52 \text{ Ом};$$

$$U_1 = 3,075 \text{ В};$$

$$U_2 = 3,015 \text{ В};$$

$$I_1 = 0,104 \text{ А}$$

$$I_2 = 0,054 \text{ А}$$

Производим расчёт сопротивления $R_{d,c}$, подставив значения в формулу 2:

$$R_{d,c} = \frac{3,075 - 3,075}{0,104 - 0,054} \quad (2)$$

$$R_{d,c} = 120 \text{ мОм.}$$

Стандартное сопротивление литиевых источников питания, примерно равно 100 мОм. Полученный результат полностью удовлетворяет требованиям исправного аккумулятора.

Следующим действием необходимо произвести замер емкости аккумулятора SAMS SDI/ICR18650-22F/1A24. Для вычисления ёмкости аккумулятора, необходимо произвести его зарядку до максимального напряжения и разрядить до минимального значения постоянной нагрузкой.

Расчёт ёмкости будет производиться по формуле 3:

$$Q = I \cdot T \quad (3)$$

Где: Q – Ёмкость элемента

I – Ток разряда аккумулятора

T – Время разряда

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.им.	Подпись	Дата		40

Произведем разрядку элемента используя резистор. Номинал резистора должен обеспечивать стабильный разряд элемента током в 1,5 Ас номинальным напряжением 4,2 В. Разряд производим до напряжения 3 В. Вычислим номинал резистора по закону Ома для участка цепи.

$$R = \frac{U}{I} \quad (4)$$

$$R = 2,8 \text{ Ом}$$

Время разряда составило 176 минут. Произведём расчет ёмкости:

$$Q = 1.5 \cdot 176$$

$$Q = 2670 \text{ mAh}$$

В результате проверки была выявлена ёмкость аккумуляторной батареи, равной 2670 mAh, что рекомендует использовать проверенный элемент в аккумуляторной сборке.

Как показала практика, процесс измерений долгий и требует больших затрат времени, т.к. на проверку одного элемента уходит приблизительно 3 часа. Существует возможность ускорить и автоматизировать процесс проверки, используя специальные технические средства. Для измерения воспользуемся универсальным зарядным устройством IMAХВ6 (В соответствии в рисунком 4.9). При использовании данного технического средства, без особых проблем можно узнать емкость элемента и внутреннее сопротивление.

Рисунок 4.9— Универсальное зарядное устройство IMAXB6

Полученные данные занесём в таблицу и произведем сортировку с последующим распределением элементов по группам. Элементы в каждой группе должны быть максимально схожи друг с другом по полученным характеристикам. Количество элементов для проверки, составляет порядка 170 штук. Спецификация партии элементов, подготовленных к проверке представлена в приложении А. Даже с использованием специальных технических средств, процесс проверки занимает большое количество времени. На проверку одного элемента уходит примерно 3 часа.

Основные требования для сортировки:

- Элементы с внутреннем сопротивлением выше 200 Ом отправляются в брак;
- Элементы с ёмкостью ниже 2000 mAh в сборку не входят;
- Элементы группируются на показаниях: ёмкости, внутреннего сопротивления, атакже заводских характеристик, заявленных изготовителем.

Произведем разбиение по группам:

- Емкость 2500mAh и выше;
- Емкость 2000mAh и выше;

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док-м.	Подпись	Дата		42

Приведенный параметр будет достигнут путём последовательного включения 4-х аккумуляторов, типа 18650 с номинальным напряжением 3,7 вольта. При последовательном подключении соблюдается следующие условие:

$$I_{\text{общ}} = I_1 = I_2 = I_3 = I_4$$

$$U_{\text{общ}} = U_1 + U_1 + U_1 + U_1 \quad (6)$$

$$U_{\text{общ}} = \sum U_i \quad (7)$$

Где: $I_{\text{общ}}$ – Ток

$U_{\text{общ}}$ – Напряжение

Для получения необходимой ёмкости к каждому последовательно включённому элементу, устанавливается несколько параллельно. При параллельном подключении соблюдается следующие условия:

$$I_{\text{общ}} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 \quad (8)$$

$$U_{\text{общ}} = U_1 = U_1 = U_1 = U_1$$

$$C_{\text{общ}} = \sum C_i$$

Где: $C_{\text{общ}}$ – Суммарная ёмкость.

Согласно техническому заданию, емкость должна составлять примерно 40 Ah, что соответствует 16 параллельно включенным аккумуляторам. Схема включения представлена на рисунке 4.10.

Рисунок 4.10 – параллельно последовательное включение аккумуляторов

Напряжение сборки равно 14.4 вольтам, является наиболее используемой конфигурацией в обеспечении питания большинства вело контроллеров и инверторах напряжения, что повышает уровень универсальности изделия. В совокупности универсального напряжения, сборка будет иметь большую энергоёмкость, что в свою очередь обеспечивает продолжительное время работы питаемого оборудования.

					<i>ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док-м.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		45

4.4 Проектирование конструкции батареи

Производим проектировку расположения, а также формы крепления аккумуляторных батарей. Разберем варианты расположения элементов питания в сборке.

Как правило производители аккумуляторных сборок располагают элементы в вертикальном положении элементов друг к другу вертикально с последующим соединением между собой (В соответствии в рисунком 4.11).

Рисунок 4.11 – Вертикальный метод расположения элементов питания в сборке

Такой метод функциональный, но при плотном расположении элементов друг к другу ухудшается вентиляция элементного ряда сборки, что плохо сказывается на работоспособности элемента, также в случае неисправностей затрудняется диагностика и ремонт устройства. Из рассмотренных фактов можно сделать вывод, чем меньше поперечное сечение сборки, тем лучше теплоотдача изделия.

					<i>ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док-м.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		46

Как пример можно представить автомобильные аккумуляторы производителя «Tesla», для исключения перегрева в конструкцию батареи установлен теплоотвод с запущенным по нему хладагентом. Также произведенные китайскими инженерами устройства накопления энергии имеют подобное строение, но без теплоотвода.

Разработаем горизонтально – параллельное распределение элементов, именно такое решение должно решить проблему теплоотдачи. Горизонтально – параллельное распределение представляет собой группу вертикально расположенных аккумуляторов, установленных друг за другом в горизонтальном положении (В соответствии в рисунком 4.12).

Представленный метод позволяет функционально разместить элементы в сборке, повысить теплоотдачу и увеличить ремонтпригодность изделия, а также сделать его более компактным.

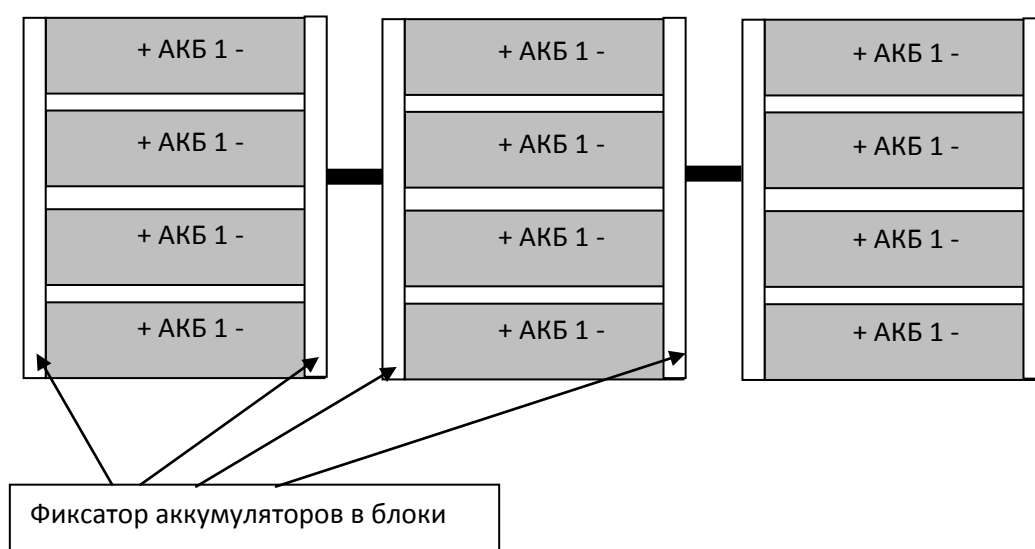


Рисунок 4.12—Горизонтально — параллельное распределение элементов

Стоит обратить внимание, что при совмещении элементов с вертикальным расположением, часто допускается совмещение элементов «корпус к корпусу» (В соответствии в рисунком 4.13), при использовании в условиях постоянной вибрации происходит повреждение изоляции элемента, такая ошибка может привести короткому замыканию ячейки, что приводит к возгоранию батареи. Элементы в ячейке необходимо располагать на расстоянии в несколько миллиметров друг от друга[27].

Рисунок 4.13 – Ошибки в проектировании в расположении элементов.

4.5 Выбор способа соединения элементов в ячейке.

Существует несколько способов соединения элементов питания между собой, это контактная сварка и пайка элементов.

Первым методикой соединения, будет рассмотрено припаивание соединительных шин или проводников к контактными площадкам элементов. С помощью пайки получаем низкое сопротивление соединения, и высокую механическую прочность и как следствие большое токопропускание. Но как известно максимальная температура нагрева литиевых аккумуляторов равна 50 — 60 градусов, увеличение температуры выше нормы приводит к деградации элемента. Температура пайки, учитывая большую площадь нагрева, составляет

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.им.	Подпись	Дата		48

примерно 380 — 400 градусов. Время контакта жала паяльника и поверхности элемента питания для схватывания оловянного припоя, примерно 40 — 60 секунд, что приведет к стремительному нагреву корпуса аккумулятора порядка 310 градусов на месте пайки и к последующему нагреву элемента около 100— 150 градусов, что губительно для элемента. В лучшем случае произойдет деградация или размыкание дренажного клапана элемента, в худшем случае возгоранию. Представленный метод не подходит.

Еще один метод соединения элементов питания — точечная сварка. Метод широко используется в промышленности, т. к. является оптимальным решением соединения. Метод заключается в приваривании проводника к контактной площадке элемента с помощью контакта сварочного электрода и местом сварки с последующим пропуском через них кратковременного электрического импульса. Ток импульса примерно равен 200 Ампер с напряжением 2— 4 вольта. Благодаря точечной сварки, соединению поддаются металлы, тяжело дающиеся пайке, такие как алюминий и сталь. Кроме того, в момент сварки, поверхность контакта не подвергается длительному нагреву, что идеально подходит для работы с литиевыми источниками питания.

Соединение элементов в ячейке произведем с помощью точечной сварки. Для изготовления пробного образца был изготовлен аппарат точечной сварки (В соответствии в рисунком 9.1), который представлен в разделе «Используемое оборудование и программное обеспечение».

4.6 Соединительная шина элементов ячейки

Как правило в производстве для соединения элементов питания используют шину проводника на основе никеля, зачастую проводник выглядит как лента. Никель как металл обладает уникальными физическими свойствами:

- Незначительное сопротивление $0,088 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$;
- Теплоёмкость с невысокими показателями — 470 Дж/кг, что не позволяет перегреваться под нагрузкой;

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.м.	Подпись	Дата		49

- Устойчивость к окислению;
- Пластичность;
- Коррозионная устойчивость,
- Пропускание тока примерно 17,8 ампер (30 ампер кратковременно).
- Нагрев до 960°С без значительных изменений физических свойств;

Удобность использования никелевой ленты в её форме, а именно шириной 5— 10 мм, толщиной от 0,127 до 0,3 мм. Такие размеры обеспечивают качественное прилегание ленты на плоской поверхности контактной группы аккумуляторной батареи. Толщина ленты не увеличивает габариты изделия.

Перед сваркой аккумуляторов необходимо определить толщину и ширину никелевой ленты. Выбор проводника выполняется с учётом максимального значения протекания тока в нём. Для определения необходимо знать общую ёмкость элементов, проектируемого устройства, а также максимальную токоотдачу. Максимальное значение тока одного элемента использующихся в сборке равна 3,5 А. Рассчитаем максимальный ток одной ячейки, добавив к результату 30% запаса потоку.

Максимальный ток одной ячейки рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{общ}} = I_{\text{Э}} \cdot N \quad (9)$$

$$I_{\text{МАХ}} = I_{\text{общ}} \cdot 0,3$$

Где: $I_{\text{общ}}$ — Суммарный ток одной ячейки сборки;

$I_{\text{Э}}$ — Максимальный ток одного элемента ячейки;

N —количество элементов одной ячейки

Получаем следующие выражение:

$$I_{\text{общ}} = 3,5 \cdot 16$$

$$I_{\text{общ}} = 56 \text{ А}$$

									Лист
									50
Изм.	Лист	№ док.им.	Подпись	Дата	ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ				

$$I_{\text{MAX}} = 72 \text{ A}$$

По результатам вычислений, определим параметры необходимой никелевой ленты. Исходя из этого, выбор ленты будет производиться, опираясь на таблицу 1.

Таблица 2— Соотношение геометрических характеристик к максимальным показаниям тока.

№	Ширина, мм	Толщина, мм	Величина тока, А
1	5	0,127	6
2	5	0,15	8
3	6	0,2	11
4	8	0,1	15
5	8	0,2	22
6	10	0,3	27

В соотношении геометрических размеров аккумуляторной батареи и максимальных протекаемых токов, подходит позиция №5 таблицы 1, с геометрическими размерами 8x0,3мм и пропускной способностью в 22 ампера.

При установке ленты стоит обратить внимание, что сварка аккумуляторов между собой производится в один слой ленты, а силовые выводы сваренной ячейки необходимо организовать с учетом максимального тока.

4.7 Входной контроль никелевой ленты

Для безопасной работы проектируемого устройства, необходимо убедиться в качестве используемых компонентов. Одним из компонентов, на который стоит обратить внимание, это никелевая лента. Если используемая лента не надлежащего качества, с большим количеством примесей или вообще имеет в составе сталь, то на таком проводнике будут присутствовать большие потери из-за высокого сопротивления.

Существуют несколько вариантов материала при изготовлении лент, это сталь с никелевым покрытием и никель. Первый вариант намного дешевле, абсолютно похож на никель, но имеет уступающие физические свойства.

Произведем проверку, а конкретно сравнение с удельным сопротивлением никеля с сопротивлением закупленной ранее ленты. Приобретённая лента имеет характеристики, соответствующие пункту №5, таблицы 1. Для проверки необходим регулируемый блок питания с индикацией протекаемого тока и мультиметр. Фиксирование показаний падения напряжения производим при токе в 1 ампер и токе 3 ампер.

Расчёт сопротивления, производится по закону Ома:

$$R = \frac{U_{уч}}{I} \quad (10)$$

где: $U_{уч}$ — напряжение на отмеченном участке.

Подключаем к концам отрезка ленты длиной 1000 мм регулируемый блок питания. Щупы тестера подключаем к отмеченным точкам на ленте, расстояние между которыми 300мм и производим подачу тока. В результате получаем следующие падения напряжения, представленные в таблице 1

										Лист
										52
Изм.	Лист	№ док.им.	Подпись	Дата	ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ					

Таблица 3— Фактические измерения параметров протекания тока.

Напряжение фактическое (В)	Ток (А)	Напряжение на участке (мВ)
3	1	54.95
3	5	275

По факту вычислений, получаем следующие значения:

$$R_1 = 55 \text{ мОм}$$

$$R_2 = 54,95 \text{ мОм}$$

Теперь приведем измеренное сопротивление к сечению в 1мм.кв. Лента имеет толщину 0.3 мм и ширину 8 мм, рассчитаем площадь сечения ленты:

$$S = 0.2 \cdot 8$$

$$S = 1.6 \text{ мм}^2$$

Далее рассчитаем удельное сопротивление материала ленты:

$$R_{уд1} = 1,6 \cdot 54,9$$

$$R_{уд2} = 1.6 \cdot 55$$

В результате получаем:

$$R_{уд1} = 87,92 \text{ мОм}$$

$$R_{уд2} = 88 \text{ мОм}$$

Рассмотрим таблицу 1 содержащую удельные сопротивления материалов. Удельное сопротивление никеля равно в 87 мОм на 1 метр материала при сечении 1 мм², что примерно совпадает с проведенным расчётом. Следовательно исследуемая лента состоит из никеля и полностью удовлетворяет требованиям проектируемого изделия.

Таблица 4— Удельные сопротивления материалов

Проводник	Удельное сопротивление, Ом·мм ² /м
Алюминий	0,028
Золото	0,023
Медь	0,0175
Никель	0,087
Сталь	0,103— 0,137
Титан	0,6

4.8 Разработка креплений элементов

Для реализации проекта с конструкцией параллельно — горизонтальным расположением элементов, необходимо разработать 3D модель.

При проектировании необходимо учесть фактор безопасной и максимально функциональной прокладки проводников по корпусу батареи также расстояние между элементами [27]. При проектировании конструкции креплений необходимо учесть, что на батарее расположено несколько датчиков температуры, балансировочные проводники, а также силовой проводник. Силовые выводы ячеек должны безопасно и надёжно соединены между собой, образуя последовательное соединение. Конструкция должна сочетать в себе функциональность, упрощенное обслуживание и простоту последующего изготовления.

Идея с параллельно — горизонтальным расположением, включает в себе проектирование блока ячейки с установленными в нее аккумуляторами. Блок ячейки состоит из двух частей, левой и правой кассеты, в которую устанавливаются аккумуляторы. Ячейки предусматривается устанавливать друг за другом и зафиксированы путём стягивания металлической штангой с помощью резьбового соединения. В ячейках должны быть предусмотрены отверстия для сборки конструкции в единый блок. Во избежании короткого замыкания, между

										Лист
										54
Изм.	Лист	№ док.м.	Подпись	Дата	ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ					

ячейками необходимо предусмотреть изоляционную пластину — изолятор. По завершению проектирования элементов, необходимо создать 3Dсборку всех элементов.

Необходимо спроектировать следующие элементы конструкции:

- Кассета для установки 18650.
- Изолятор ячеек.

Проектирование производилось с помощью программного пакета системы автоматизированного проектирования — SolidWorks.

4.8.1 Левая кассета

Результат проектирования представлен на рисунке 4.14 и рисунке 4.15.

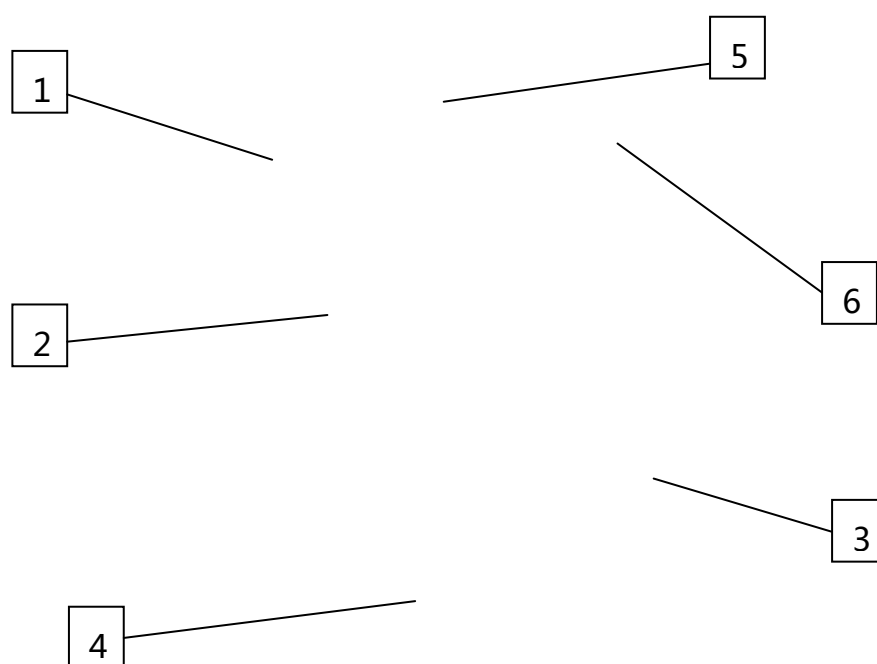


Рисунок 4.14— Левая кассета для аккумуляторов типа 18650. Фронтальная сторона.

Рисунок 4.15— Левая кассета для аккумуляторов типа 18650. Тыловая сторона.

На рисунке 22, под номерами указаны следующие конструктивные элементы кассеты:

1. Отверстие для установки аккумулятора типа 18650;
2. Ограничивающие лепестки;
3. Отверстие для кабельной разводки;
4. Площадка для размещения силовых выводов;
5. Площадка для крепления дополнительной кабельной разводки и датчиков температуры;
6. Отверстия для крепления ячейки в сборке.

Чертёж левой кассеты для аккумулятора типа 18650, представлен на чертеже ЮУрГУ 11.04.03.2020.598.01.КЛ

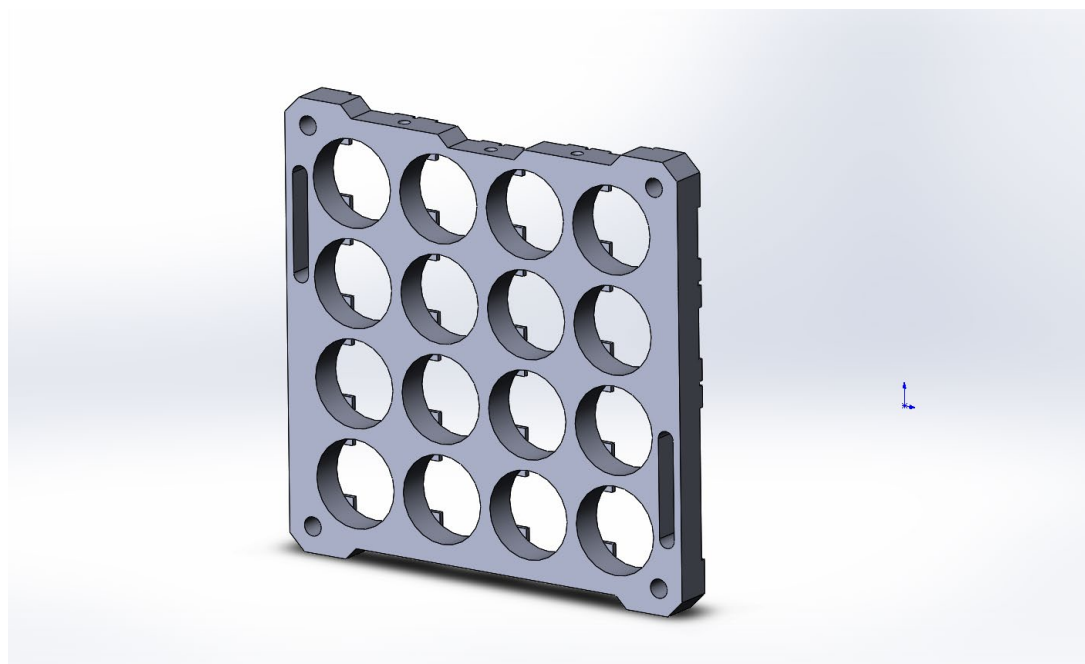
4.8.2 Правая кассета

Конструктивные элементы правой кассеты полностью аналогична левой, кроме того, что элемент выполнен полностью зеркально. Внешний вид правой кассеты для аккумулятора типа 18650 представлен на рисунке 1.

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док-м.	Подпись	Дата		56

Конструктивные элементы правой кассеты полностью аналогична левой, кроме того, что элемент выполнен полностью зеркально. Внешний вид правой кассеты для аккумулятора типа 18650 представлен на рисунке 4.16 и рисунке 4.17. Чертёж правой кассеты для аккумулятора типа 18650, представлен в приложении Б.

Рисунок 4.16— Правая кассета для аккумулятора типа 18650. Фронтальная



сторона.

Рисунок 4.17— Правая кассета для аккумулятора типа 18650. Тыловая сторона.

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.м.	Подпись	Дата		57

4.8.3 Изолятор

Основная функция детали, это изоляция между ячейками в время сборки и эксплуатации устройства. Изолятор полностью повторяет форму кассеты и имеет выводы для кабельной разводки. Внешний вид изолятора представлен на рисунке 4.18. Чертёж изолятора для кассеты для аккумулятора типа 18650, представлен на чертеже ЮУрГУ 11.04.03.2020.598.01.КЛ.

Рисунок 4.18— Изолятор

4.8.4 Сборка модели

Первым этапом, произведем сборку одной ячейки совместив левую и правую ячейку с аккумуляторами типа 18650, далее установим изолятор на ячейку (В соответствии в рисунком4.19). Сборочный чертёж представлен ЮУрГУ 11.04.03.2020.598.02.КЛ.

					<i>ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док.м.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		58

Следующим шагом будет сборка элементов в одну конструкцию. Модель конструкции представлена на рисунке 4.20. Общий чертеж сборки представлен в приложении Д.

Рисунок 4.19— Сборка ячейки.

Рисунок 4.20— Сборка ячеек в единый блок.

					<i>ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док-м.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		59

5. Схемотехнический раздел

5.1 Разработка структурной схемы устройства

В предыдущем разделе было произведено определение с основными параметрами проектируемого устройства, типа используемых аккумуляторов и формы готового устройства. Опираясь на проведенную работу, приступим к разработке блока БСУ и структурной схемы устройства. Условия к проектированию остаются неизменными, это безопасность, простота изготовления и ремонтпригодность. Разработаем блок схему аккумуляторной сборки под системой управления БСУ. Функциональная схема аккумуляторной сборки под системой управления БСУ представлена на рисунке 5.1.

Рисунок 5.1—Функциональная схема аккумуляторной сборки под системой управления БСУ.

На рисунке 1 представлена схема готового изделия. Блок БСУ подключён к силовым выводам, выводам балансировки и датчикам температуры аккумуляторной сборки. На схеме указаны:

— Ячейка 1—4.

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.м.	Подпись	Дата		60

разместить контроллер заряда, также схему индикации заряда. Приступим к разработке функциональной схемы БСУ. Упрощенная версия функциональной схемы блока батарейной системы управления представлена на рисунке 5.2.

Рисунок 5.2— Структурная схема блока батарейной системы управления

6 Разработка принципиальной схемы устройства и выбор элементной базы

6.1 Выбор микросхемы управления БСУ

Блок БСУ очень важный элемент проектируемого устройства. От корректной работы устройства зависит срок службы и безопасность использования изделия. Перед проектированием электрической принципиальной схемы, необходимо произвести выбор микросхемы управления — основного элемента блока БСУ.

					<i>ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док-м.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		62

В настоящее время мировые производители интегральных микросхем представляют большой выбор устройств, для работы с литиевыми аккумуляторами. К сожалению, на рынке отсутствуют микросхемы необходимой направленности российского производства, поэтому рассмотрим иностранные варианты.

Остановимся на китайской компании BYD Microelectronics, деятельность которых направлена в производстве электроники для электротранспорта. В производимом перечне микросхем управления литиевыми элементами питания, наиболее подходит микросхема BM3451. Микросхема BM3451 производства BYD Microelectronics, представлена на рисунке 6.1.

Рисунок 6.1— BM3451 производства BYD Microelectronics

Рассматриваемая микросхема является универсальным решением от фирмы BYD Microelectronics, для контроля литиевых элементов питания. Расширенным функционалом данного электрического прибора решаются задачи управления балансировкой, заряда батареи, контроля температуры и мониторинга электрических параметров на выходе.

					<i>ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док.м.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		63

6.2 Проектирование электрической принципиальной схемы балансировки

Микросхема контроллера VM3451 имеет функцию управления балансировкой литиевых элементов. Произведем проектирование схемы пассивного балансира под управлением микроконтроллера. Схема блока балансировки представлена на рисунке 31.

Рисунок 6.2— Электрическая принципиальная схема блока балансировки БСУ

На рисунке представлена схема, состоящая из четырёх одинаковых по элементной базе блоков. Каждый блок, производит балансировку отведенного ему элемента. Принцип работы спроектированной схемы состоит в том, что при достижении максимального напряжения во время заряда на подконтрольном элементе, излишки энергии направляются на группу резисторов и рассеиваются в виде тепла, исключая тем самым перезаряд аккумулятора. Схема работает следующим образом, устройство контроля фиксирует уровень напряжения через выход "Сигнал 1" в момент когда напряжение на элементе V1 приближается к номинальному, устройство контроля подает управляющий сигнал на вход "Упр1", для открытия мосфет транзистора D1. Параллельно контролируемому

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.м.	Подпись	Дата		64

аккумулятора включается группа резисторов R1 и R2, принимая на себя излишки энергии. Во время активизации узла балансировки срабатывает световая индикация, сигнализируя о включении R1 и R2 в цепь. Кроме того, в схеме присутствуют токоограничивающие резисторы R9 и R13.

6.3 Проектирование электрической принципиальной схемы блока БСУ

Произведем проектирование электрической принципиальной схемы, включив в схему микросхему управления VM345. Схема представлена на рисунке 6.3.

Рисунок 6.3 — Электрическая принципиальная схема блока БСУ

Микросхема производит постоянный контроль температуры с помощью NTC термистора R27. Управление силовыми выводами на заряд и разряд, производится с помощью группы мосфет транзисторов. Управление силовыми вентилями X6,X8,X10,X12 на нагрузку производит котроллер. В случае превышения

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.им.	Подпись	Дата		65

Распиновка выводов микросхемы представлена в таблице 5, в соответствии с рисунком 6.1.

Контроллер имеет следующие функции:

- Защита от перезаряда;
- Защита от глубокого разряда;
- Защита от перегрузки по току;
- Контроль тока заряда;
- Функция балансера;
- Защита от перегрева;
- Защита от обрыва балансировочного провода;
- Выбор алгоритма работы ячеек /3S/4S/5S;
- Функция расширения ячеек до 10S.

Рисунок 6.1 — Выводы микросхемы

					<i>ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док.м.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		67

Таблица 5 — TSSOP28 Pin

Pin	Имя	Описание
1	BALUP	Терминала передачи сигнала 1, для расширения 2-х микросхем.
2	DOIN	Контроль длительного применения.
3	COIN	Совместный регулятор длительного применения.
4	TOV	Подключите к конденсатору для установки времени задержки. Защита от перезаряда.
5	TOVD	Подключите к конденсатору для установки времени задержки защита от чрезмерного разряда.
6	TOC1	Подключение к конденсатору для установки времени задержки во время разряд. Защита от перегрузки по току 1.
7	TOC2	Подключение к конденсатору для установки времени задержки во время разряд. Защита от перегрузки по току 2.
8	NTC	Определение температуры ячейки.
9	TRH	Контрольная температурная защита.
10	VM	Клемма обнаружения напряжения 1 для определения нагрузки на выводе для ЗУ.
11	CO	Терминал управления зарядным устройством, выход Open-Drain.
12	DO	Управление транзистора выхода нагрузки — Mosfet, выход CMOS.
13	BALDN	Терминал 2 передачи сигнала баланса, для расширения 2-х микросхем
14	VIN	Обнаружение перегрузки по току зарядки и разрядки, терминал 2
15	OCCT	Управление отключения потребителя при максимальном токе под нагрузкой
16	SET	Выбор логики управления для применения в ячейке 3/4/5
17	GND	Контакт заземления микросхемы
18	BAL1	Управление ячейкой 1
19	VC1	Контроль ячейки 1
20	BAL2	Управление ячейкой 2
21	VC2	Контроль ячейки 2
22	BAL3	Управление ячейкой 3
23	VC3	Контроль ячейки 3
24	BAL4	Управление ячейкой 4
25	VC4	Контроль ячейки 4
26	BAL5	Управление ячейкой 5
27	VC5	Контроль ячейки 5
28	VCC	Питание

Изм.	Лист	№ док.м.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ

Лист

68

6.4.2 Выбор транзистора управления силовых выводов

Для обеспечения корректной работы устройства и выполнения положенных на него функций, на выход схемы необходимо установить мощные полевые транзисторы. Транзисторы в схеме выполняют функцию ключа, установленных на входе зарядного разъема и выхода на нагрузку. Допускается использование одной модели полевого транзистора на силовой выход и вход зарядки. Известно что максимальный рабочий ток устройства равен 60 А, с напряжением 14.4 В и нагрузкой 500 Вт, Из-за большой мощности предположительно можно определить, что в схеме будет использоваться несколько параллельно включенных транзисторов.

Для определения транзистора необходимо определить следующие параметры, с учётом коэффициента $k=1,5$:

— Напряжение сток-исток $V_{\text{общ}}$ должно быть не меньше требуемого условия:

$$V_{\text{общ}} \geq V \cdot k ; \quad (11)$$

$$V_{\text{общ}} = 14.4 \cdot 1.5$$

$$V_{\text{общ}} = 21,6 \text{ В}$$

— Максимальная сумма токов сборки транзисторов I_{max} должен быть не меньше требуемого условия:

$$I_{\text{max}} \geq I \cdot k ; \quad (12)$$

$$I_{\text{max}} = 60 \cdot 1,5$$

$$I_{\text{max}} = 90 \text{ А}$$

— Рассеиваемая мощность через сборку транзисторов P_{max} должна быть не меньше требуемой:

$$P_{\text{max}} \geq P \cdot k^2 ; \quad (13)$$

$$P_{\text{max}} = 1125 \text{ Вт}$$

— Напряжение затвор-исток $V_{з,и}$ должно быть не меньше напряжения управляющего сигнала $V_{з,и} > 3V..5V$.

— Пороговое напряжение затвор-исток $V_{пор}$ должно быть маленьким $V_{пор} \leq 4V$;

— При прочих равных выбираем транзистор с наименьшим сопротивлением в открытом состоянии.

Под определенные параметры хорошо подходит вертикальный n – канальный МОП – транзистор КП-723 [17]. Выбранный транзистор представлен рисунке 6.2. Назначение выводов транзистора указаны в таблице 6. Характеристики транзистора представлены в таблице 7.

Рисунок 6.2 — Транзистор КП-733

Таблица 6 — Назначение выводов

Вывод	Назначение
№1	Затвор
№2	Сток
№3	Исток

Таблица 7 — Характеристики транзистора КП-733

Параметры	Обозначения	Единица измерения	Характеристика
Напряжение сток-исток	U_{\max}	В	60
Напряжение затвор-исток	U_{\max}	В	± 20
Постоянный ток стока	I_{\max}	А	50
Импульсный ток стока	$I_{c \max}$	А	200
Рассеиваемая мощность при $T_{\text{корп}}=25^{\circ}\text{C}$	P_{\max}	Вт	150
Тепловое сопротивление переход-корпус	$R_t \text{ п-к}$	$^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$	1,0
Температура перехода	$T_{\text{пер}}$	$^{\circ}\text{C}$	175

Исходя из показаний рассеиваемой мощности, атак же максимальных токов, можно рассчитать максимальное количество транзисторов на линии заряда и нагрузки, которое равно 8 шт. на одной линии и 16 шт. суммарно.

6.4.3 Выбор транзистора управления балансировкой

Во время заряда ячеек сборки, наступает момент необходимости отключения от зарядки полностью набравшей заряд ячейки. Избыточная мощность перенаправляется и рассеивается на специально отведенном резисторе. За перенаправление избыточной мощности, отвечает полевой транзистор управления балансировкой.

По аналогии с пунктом 6.4.2, произведем расчет транзистора управления балансировкой. Рассчитываемый транзистор работает с диапазоном напряжения 3,7 — 4,2 В, с максимальным током не превышающим 200 мА. Определим параметры транзистора, с учётом коэффициента $k=1,5$

— Напряжение сток-исток $V_{\text{общ}}$ должно быть не меньше требуемого условия:

$$V_{\text{общ}} \geq V \cdot k ;$$

$$V_{\text{общ}} = 4,2 \cdot 1,5$$

$$V_{\text{общ}} = 6,3 \text{ В}$$

— Максимальная сумма токов сборки транзисторов I_{max} должен быть не меньше требуемого условия:

$$I_{\text{max}} \geq I \cdot k ;$$

$$I_{\text{max}} = 0,2 \cdot 1,5$$

$$I_{\text{max}} = 0,3 \text{ А}$$

— Рассеиваемая мощность транзистора P_{max} должна быть не меньше требуемой:

$$P_{\text{max}} \geq P \cdot k^2 ;$$

$$P_{\text{max}} = 1,89 \text{ Вт}$$

— Напряжение затвор-исток $V_{з.и}$ должно быть не меньше напряжения управляющего сигнала $V_{з.и} > 3V..5V$.

— При прочих равных выбираем транзистор с наименьшим сопротивлением в открытом состоянии.

Под определенные параметры хорошо подходит n – канальный МОП – транзистор КП-531 [16]. Выбранный транзистор представлен рисунке 6.3. Назначение выводов транзистора указаны в таблице 8. Характеристики транзистора представлены в таблице 9.

Рисунок 6.3 — Транзистор КП-531

Таблица 8 - Назначение выводов КП-531

Вывод	Назначение
№1	Исток
№2	Сток
№3	Затвор

Таблица 9 - Характеристики КП-531

Параметры	Обозначения	Единица измерения	Характеристика
Напряжение сток-исток	U_{max}	В	200
Напряжение затвор-исток	U_{max}	В	± 20
Постоянный ток стока	I_{max}	А	0,3
Импульсный ток стока	$I_{c\ max}$	А	2
Рассеиваемая мощность	P_{max}	Вт	1,8
Температура перехода	$T_{пер}$	$^{\circ}C$	150

6.4.4 Выбор резистора балансировки

Произведем выбор резистора балансировки. Задача выбираемого элемента, рассеивание в тепло излишней энергии во время балансировки ячеек. Ток балансировки, для сборок литиевых аккумуляторов с большой ёмкостью, рекомендуется устанавливать в районе 200 мА на один элемент с напряжением 4,2 В[19]. Расчетам сопротивление резистора, используя закон Ома для полной цепи.

$$R = \frac{4,2 \text{ В}}{0,2 \text{ А}}$$

$$R = 21 \text{ Ом}$$

Рекомендуемый номинал резистора рассеивания 21 Ом. Для увеличения теплоотдачи, установим два резистора параллельно. Для обеспечения сопротивления цепи в 21 Ом, сопротивление каждого резистора будет составлять 43 Ом.

Произведем расчёт мощности резистора по формуле 14.

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (14)$$

$$P = \frac{4,2^2}{43}$$

$$P = 0,41 \text{ Вт}$$

Для установки на устройство выбираем резистор с номинальным сопротивлением 43 Ом и мощностью 0,5 Вт.

7. Конструкторский раздел

Устройство выполнено на двухсторонней печатной плате с использованием технологии поверхностного монтажа, что позволило снизить массогабаритные и экономические характеристики изделия. Форма печатной платы была выбрана в точном соответствии с формой изолятора и кассеты для сборки аккумуляторов типа 18650, в соответствии габаритным размерам **ЧЕТЁЖ** ИЗОЛЯТОРА.

Для изготовления печатной платы выбран двухсторонний фольгированный стеклотекстолит СФ2-35-1,5 ГОСТ 10316-78, который обладает высокой механической прочностью, химической прочностью, хорошими электроизоляционными свойствами и низким влагопоглощением. Для изготовления печатной платы используется комбинированный метод.

Центры отверстий и контактных площадок должны располагаться в узлах координатной сетки. По краям печатной платы и вокруг монтажных отверстий необходимо оставлять свободные зоны, в которых не должно быть проводников и элементов. Контактные площадки рекомендуется применять прямоугольной формы. Ширина печатного проводника должна быть не более 0,4 мм. Расстояние между соседними проводниками не менее 0,3 мм.

Пайка поверхностно — монтируемых элементов будет осуществляться с применением мягкого припоя ПОС-61 – припой оловянно — свинцовый, содержит 61% олова, 39% свинца, температура пайки около 230°C.

7.1 Трассировка печатной платы

На сегодняшний день наиболее распространенным технологическим процессом изготовления печатных плат (ПП) является гальвано химическая субтрактивная технология. Основой печатной платы является подложка из

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док-м.	Подпись	Дата		75

стеклотекстолита – диэлектрика, представляющего собой спрессованные листы стеклоткани, пропитанной эпоксидным компаундом.

Для изготовления двухсторонней ПП (ДПП) используется стеклотекстолит, с обеих сторон ламинированный медной фольгой. Сначала на плате сверлят отверстия, подлежащие металлизации. Затем они подготавливаются к осаждению металла – производится их химическая очистка, выравнивание и «активация» внутренней поверхности.

Для формирования проводников на поверхность медной фольги наносится фоторезистивный материал, полимеризующийся на свету (позитивный процесс). Затем плата засвечивается через фотошаблон – пленку, на которую на фото плоттере нанесен рисунок проводников ПП (проводники непрозрачны). Фоторезист проявляется и смывается в тех местах, где он не был засвечен. Открытыми оказываются только участки, где должны остаться медные проводники.

Далее производят гальваническое нанесение меди на стенки отверстий. При этом медь осаждается как внутри отверстий, так и на поверхность платы, поэтому толщина проводников складывается из толщины медной фольги и слоя гальванической меди. На открытые участки меди гальванически осаждают олово (или золото), а оставшейся фоторезист смывают специальным раствором. Далее медь, не защищенная оловом, травливается. При этом проводники в сечении приобретают форму трапеции – агрессивное вещество постепенно «съедает» наружные слои меди, прокрадываясь под защитный материал.

Как правило, на ПП наносится паяльная маска – слой прочного материала, предназначенного для защиты проводников от попадания припоя и флюса при пайке, а также от перегрева. Маска закрывает проводники и оставляет открытыми контактные площадки и ножевые разъемы. Способ нанесения паяльной маски аналогичен нанесению фоторезиста – при помощи фотошаблона с рисунком площадок нанесенных на ПП материал маски засвечивается и поляризуется,

											Лист
											76
Изм.	Лист	№ док-м.	Подпись	Дата							

ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ

участки с площадками для пайки оказываются не засвеченными, и маска смывается с них после проявки. Чаще всего паяльная маска наносится на слой меди. Поэтому перед ее формированием защитный слой олова снимают – иначе олово под маской вспучится от нагревания платы при пайке. Маркировка компонентов наносится краской, методом стеклографии или фото проявления.

На готовой печатной плате, защищенной паяльной маской, площадки для пайки покрываются оловянно – свинцовым припоем (например, ПОС – 61).

Наиболее современный процесс его нанесения – горячее лужение с выравниванием воздушным ножом (HAL – hotairleveling). Плату погружают на короткое время в расплав припоя, затем направленной струей горячего воздуха продувают металлизированные отверстия и снимают излишки припоя с площадок.

В покрытой припоем плате сверлят крепежные отверстия (в них не должно быть внутренней металлизации), фрезеруют плату по контуру, вырезая из заводской заготовки, и передают на конечный контроль, (визуальный просмотр и/или электрическое тестирование платы).

Трассировка печатной платы производилась в соответствии электрической принципиальной схеме в соответствии чертежа ЮУрГУ 11.04.03.2020.598.05.Э2. При проектировании использовался программный комплекс "EasyEDA ". Результат трассировки печатной платы представлен на рисунке 7.1 и рисунке 7.2. Расположение элементов на плате представлено на рисунке 7.3 и рисунке 7.4.

Рисунок 7.1 — Правая сторона печатной платы

Рисунок 7.2 — Левая сторона печатной платы

					<i>ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док-м.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>78</i>

Рисунок 7.3 — Левая сторона печатной платы

Рисунок 7.4 — Левая сторона печатной платы

Изм.	Лист	№ док-м.	Подпись	Дата

ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ

Лист

79

7.2 3D модель печатной платы

Для наглядности полученного результат, было произведено проектирование платы разработанного устройства в 3D формате. Для проектирования печатной платы, использовался программный комплекс "EasyEDA". 3Dмодель устройства представлена на рисунке 7.1 и рисунке 7.2.

Рисунок 7.5 — 3D модель печатной платы БСУ

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док-м.	Подпись	Дата		80

Рисунок 7.6 — 3D модель печатной платы БСУ.

8. Производство пробного образца

После завершения работы по расчётам и моделированию, приступаем к непосредственному производству тестового образца.

Целью работы является производство аккумуляторного блока к последующему выпуску модуля БСУ.

Произведём изготовление кассет крепления, для аккумуляторов типа 18650. Для производства элементов крепления была выбрана технология 3Dfdmпечати, с

					<i>ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док.м.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>81</i>

помощью 3D принтера российского производства Picaso 3D Designer. Процесс печати изображен на рисунке 8.1. Готовое изделие представлено на рисунке 8.2.

Рисунок 8.1 — Процесс печати

По окончании печати произведем сборку кассет с аккумуляторами с последующей сваркой никелевой лентой. Результат сборки представлен на рисунке 8.3.

Следующим действием будет сборка ячеек в один элемент. Результат сборки представлен на рисунке 8.4.

					<i>ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док-м.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		82

Рисунок 8.2 — Готовое изделие

Рисунок 8.3 — Ячейка сборки

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.м.	Подпись	Дата		83

Рисунок 8.4 — Ячейки собранные в блок

					<i>ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док-м.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>84</i>

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведения ВКР по данным технического задания разработано устройство контроля и балансировки питания на базе li-ion аккумуляторов.

При разработке электрической принципиальной схемы большое внимание уделялось применению современной элементной базы российского производства.

При проектировании устройства учитывались требования по электрическим параметрам и размеру прибора, а также другие различные технические требования. Применяемая индикация позволяет легко ориентироваться при работе БСУ.

Разработанное устройство имеет широкие возможности по модернизации и доработке. Изделие обладает повышенной ремонтопригодностью, устойчиво к вибрациям и высокой влажности.

					<i>ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док-м.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		85

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лаврус В.С. «Источники энергии» Изд. «Наука и техника», 2004 г.
2. Владимир Васильев. «Li-ионакумуляторы», Изд. IXBT, 2001 г.
3. Рыкованов А. С. «Системы баланса Li-ion аккумуляторных батарей» // Силовая электроника. 2009. № 1.
4. Рыкованов А. С. «Элементная база систем обеспечения функционирования Li-ion аккумуляторов» // Компоненты и технологии. 2012. № 8.
5. Рыкованов А. С. «Способы балансирования портативных железо — фосфатных Li-ion аккумуляторных батарей» // Компоненты и технологии. 2012. № 10.
6. Румянцев А.Г, Рыкованов А.О «Способы заряда Li-ion аккумуляторов и батарей на их основе». 2012.
7. Программируемые АКБ, здесь и сейчас — https://li-bat.ru/katalog/130-programmiruemaaya_bms_li24s_c.html.
8. Использование балансировки элементов в мощных Li-Ion аккумуляторах — <https://www.electronicdesign.com/archive/use-cell-balancing-enable-large-scale-li-ion-batteries>.
9. Пат.2524352 Российская Федерация, МПК₅₁H01M10/48. Устройство для подзарядки аккумуляторных батарей гибридного автомобиля / Ю.А. Сизов. — №2012146424/07; заявл. 31.10.12; опубл. 27.07.14, Бюль.№21.
10. Пат.2526849 Российская Федерация, МПК₅₁H02J7/02. Устройство управления аккумуляторной батареей / НИССАН МОТОР КО., ЛТД. (JP). — № 2013111536/07; заявл. 03.08.11; опубл. 27.08.14, Бюль.№24.
11. Пат.2526854 Российская Федерация, МПК₅₁H02J7/00. Усовершенствования система аккумуляторных батарей/ ЧАНГ Чун-Чъех. — № 2012149928/07; заявл. 07.04.11; опубл. 27.08.14, Бюль.№24.
12. Пат. 2332755 Российская Федерация, МПК₅₁H01M2/48. Защитное устройство для предотвращения избыточного заряда вторичных батарей / ЭЛ ДЖИ КЕМ, ЛТД.. — №2007110838/09; заявл. 21.07.05; опубл. 27.08.08, Бюль.№24.

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.им.	Подпись	Дата		86

13. Пат. 474026 Российская Федерация, МПК₅₁H01M2/00. Элемент аккумуляторной батареи и устройство мониторинга для батареи в сборе / НИССАН МОТОР КО., ЛТД.. — №2011117278/07; заявл. 30.09.09; опубл. 27.01.13, Бюль. №3.
14. Пат. 2488932 Российская Федерация, МПК₅₁H02H7/18. Аккумуляторная батарея и содержащий её электрический прибор / РОБЕРТ БОШ ГМБХ. — №2008129298/07; заявл. 17.07.08; опубл. 27.07.13, Бюль. №21.
15. Datasheet. BM3451 Series. — <https://datasheetspdf.com/pdf-down/B/M/3/BM3451-BYDMicroelectronics.pdf/> — WI-D06-J-0036 Rev.A/1
16. Datasheet. n – канальный МОП – транзистор КП-531. — <https://static.chipdip.ru/lib/032/DOC001032139.pdf/> — 2010, ред.01.
17. Datasheet. Мощный вертикальный n – канальный МОП – транзистор КП-723. — <https://static.chipdip.ru/lib/008/DOC001008335.pdf/> — 2010, ред.01.
18. Радиоактив — все для радиотехника. — <https://radioaktiv.ru/>.
19. Radio PROG — <https://radioprogram.ru/>.
20. Наблюдения за поведением температуры при заряде и разряде Li-Ion аккумуляторов. — <https://www.rlocman.ru/review/article.html?di=65479/>.
21. Выбор никелевых пластин для сварки аккумуляторов. — <https://electrotransport.ru/ussr/index.php?topic=42418.18/>.
22. Платы балансировки литиевого аккумулятора — <https://batts.pro/platy-litievogo-akkumulyatora/>.
23. ГОСТ Р МЭК 62660-1-2014. Аккумуляторы Li-ион для электрических дорожных транспортных средств. Часть 1. Определение рабочих характеристик.
24. ГОСТ Р 58366-2019 Аккумуляторы Li-ион для электрических дорожных транспортных средств. Часть 4. Альтернативные методы испытаний на внутреннее короткое замыкание по МЭК 62660-3.
25. ГОСТ Р МЭК 61960-2007 Аккумуляторы и аккумуляторные батареи, содержащие щелочной и другие неокислотные электролиты. Аккумуляторы и аккумуляторные батареи литиевые для портативного применения.

					ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.им.	Подпись	Дата		87

- 26.ГОСТ Р МЭК 60086-4-2009 Батареи первичные. Часть 4. Безопасность литиевых батарей.
27. ГОСТ 2.001-93 ЕСКД. Общие положения.
28. ГОСТ 2.304-81 ЕСКД. Шрифты чертёжные.
29. ГОСТ 2.701-2008 ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.
30. ГОСТ 2.702-2011 ЕСКД. Правила выполнения электрических схем
- 31.ГОСТ 2.708-81 ЕСКД. Правила выполнения электрических схем цифровой вычислительной техники.
32. ГОСТ 12.2.007.0-75 ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.

					<i>ЮУрГУ 11. 04. 03. 2020. 598. 00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док.им.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>88</i>