

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра Проектирование и эксплуатация автомобилей

(наименование)

23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Автомобили и автомобильный сервис

(направленность (профиль)/специализация)

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Разработка мобильной пуско-зарядной станции

Обучающийся

А.В. Андреев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.Е. Епишкин

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

## **Аннотация**

В бакалаврской работе рассмотрены вопросы разработки мобильной пуско-зарядной станции для автотранспорта.

В ходе выполнения работы была обоснована актуальность разработки пуско-зарядного устройства, проведен детальный анализ различных типов аккумуляторных батарей (AGM, литий-ионных, литий-полимерных, литий-железо-фосфатных и литий-титанатных). Сформулированы основные задачи, которые должны решаться в ходе проектирования пуско-зарядного устройства, а именно: обеспечение долговечности за счет большого количества циклов заряд-разряд, возможность производства зарядки при отрицательных температурах без потери зарядных свойств аккумулятора.

На основании выявленных требований были подобраны компоненты, создана модель мобильной пуско-зарядной станции, изготовлен и описан прототип.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки в размере 43 страниц, содержащей 2 таблицы, 14 рисунков и графической части, содержащей 6 листов.

## Содержание

Введение .....	4
1 Состояние вопроса .....	5
1.1 Актуальность разработки пуско-зарядного устройства и типы зарядных устройств .....	5
1.2 Специфика зарядки аккумуляторных батарей.....	8
1.3 Восстановление АКБ.....	13
1.4 Диагностика АКБ .....	17
2 Анализ аккумуляторов .....	22
2.1 Аккумуляторы типа AGM.....	23
2.2 Литий-ионные аккумуляторы.....	24
2.3 Литий-полимерные аккумуляторы .....	25
2.4 Литий-железо-фосфатные аккумуляторы .....	26
2.5 Литий-титанатные аккумуляторы .....	27
3 Разработка мобильного пуско-зарядного устройства .....	28
3.1 Подбор компонентов.....	28
3.2 Определение параметров батареи .....	31
3.3 Разработка 3д-модели .....	34
4 Инструкция для работы с пуско-зарядным устройством.....	38
Заключение .....	40
Список используемой литературы и используемых источников .....	41

## Введение

«Качество и срок эксплуатации аккумуляторной батареи (АКБ) зависит от своевременности и полноты работ при ее обслуживании» [1]. В частности, зарядка большими токами снижает срок службы и уменьшает емкость аккумулятора, в то время как зарядка малыми токами является нежелательной для конечного потребителя, т. е. автовладельца, ввиду большой длительности процесса зарядки. Систематический разряд батареи способствует развитию сульфатации, которая, в свою очередь, является одной из наиболее частых причин неисправности батареи. Кроме того, отрицательно на свойствах аккумулятора сказываются систематический недозаряд и низкий уровень электролита.

На данный момент для зарядки АКБ широко используются пуско-зарядные устройства (ПЗУ), которые представляют собой особого вида внешние устройства для заряда электрических аккумуляторов и аккумуляторных батарей. Чаще всего они используются для подзарядки автомобильных аккумуляторных батарей, а также для запуска автомобильного двигателя электрическим стартером при севшей батарее. Особенно актуальными данные функции становятся в холодное время года при критически низких температурах, когда состояние аккумуляторной батареи становится причиной, по которой транспортное средство не заводится.

В рамках бакалаврской работы был проведен сравнительный анализ нескольких видов батарей, на основе которого литий-титанатный аккумулятор был выделен как наиболее перспективный вид батарей для использования в устройстве для зарядки. Был реализован проект по разработке пуско-зарядного устройства на литий-титанате с последующим тестированием его эксплуатационных свойств.

## **1 Состояние вопроса**

### **1.1 Актуальность разработки пуско-зарядного устройства и типы зарядных устройств**

По официальным данным на 2022 год, в России числится 45,5 млн легковых автомобилей, что составляет 76,3% от общего количества транспортных средств (59,6 млн шт.) [6]. Ввиду таких причин, как периодическая разрядка аккумуляторных батарей и продолжительных простоев транспортного средства, автовладельцам для успешного запуска мотора требуется прибегать к использованию специализированных пуско-зарядных устройств.

Пуско-зарядным устройством (ПЗУ) называется «электронное устройство для заряда электрических аккумуляторов и аккумуляторных батарей энергией внешнего источника. Подавляющее число типов аккумуляторных батарей основано на циклическом преобразовании химической энергии в электрическую, это позволяет многократно заряжать и разряжать батарею» [4]. Аккумуляторная батарея или АКБ представляет собой источник тока многократного действия, который может быть вновь заряжен после разряда.

На данный момент на рынке существует достаточно большое количество зарядных устройств для различных типов аккумуляторных батарей с различными показателями напряжения и емкости. Кроме того, разрабатываются устройства для диагностики и частичного восстановления аккумуляторов.

По назначению выделяют следующие виды зарядных устройств для АКБ: зарядные, пуско-зарядные и пусковые. Зарядные и пусковые ЗУ предназначены для зарядки АКБ и запуска двигателя, соответственно. Пуско-зарядные устройства объединяют в себе обе функции. Для запуска двигателя пусковым и пуско-зарядным устройствам требуется подключение к сети.

По своему устройству ЗУ для автомобильных аккумуляторов делятся на трансформаторные и импульсные.

Трансформаторные зарядные устройства считаются устаревшими. «В основе их работы лежит трансформатор, который через диодный выпрямительный мост подает стабильный ток напряжением 12 В» [2]. Подобные зарядные устройства контролируются вручную с целью наблюдения за процессом восполнения емкости. Среди недостатков также можно отметить громоздкость ЗУ и большой вес.

Главное отличие другого вида зарядных устройств – импульсного ЗУ – «заключается в подаче тока импульсами, а не постоянным напряжением. В основе конструкции лежит плата или микропроцессор, которые контролируют процесс восполнения емкости: на старте подается более высокий ток, который снижается по мере зарядки. Такие устройства способны заряжать глубоко разряженные аккумуляторы с помощью сверхнизкого тока. Импульсные ЗУ отличаются малыми габаритами и небольшим весом [14].

В основном все зарядные устройства включают в себя преобразователь напряжения (трансформатор или импульсный блок питания), выпрямитель, стабилизатор напряжения, и по необходимости устройство контроля процесса заряда, средства индикации (стрелочный или светодиодный амперметр/вольтметр)» [5].

Зарядные устройства разнятся в зависимости от АКБ, с которыми они используются. К основным типам аккумуляторов принято относить литиевые, никель-кадмиевые, свинцово-кислотные.

Первый тип аккумуляторов – литиевый (литий-ионный) «широко распространен в современной бытовой электронной технике. Такой аккумулятор чаще всего используется для питания ноутбуков, фотоаппаратов и другой техники, но в современных телефонах он уже используется редко, так как вытесняется более прогрессивным типом батарей [15]. Их основной недостаток в высокой чувствительности к перезаряду, поэтому в устройствах,

где используются такие батареи, обязательно устанавливают контроллер, который ограничивает заряд» [3].

Никель-кадмиевые АКБ – это «тип электрического аккумулятора, который на данный момент еще достаточно широко используются в хозяйстве. Данный тип способен выдерживать большое количество разрядов и зарядов, устойчив к низким температурам и у него большой допустимый ток разряда» [2].

«Одними из основных его достоинств является низкая цена и большой срок службы. Недостатки указанного вида в том, что он быстро самостоятельно разряжается, имеет низкую плотность энергии и его применение ограничивается из соображений охраны окружающей среды (кадмий является ядовитым веществом)» [17].

Наконец, существуют свинцово-кислотные зарядные устройства. Данный тип аккумуляторных батарей чаще всего используется для автомобилей. Для таких аккумуляторов используются как импульсные, так и трансформаторные зарядные устройства.

Преимуществом данного типа является то, что «свинцовые аккумуляторы могут использоваться многократно. Они являются вторичными источниками тока, работающими за счет создания химических реакций. При их работе в большом количестве расходуются химические элементы» [1], однако при последующей зарядке они восстанавливаются.

Устройство автомобильной АКБ показано на рисунке 1.

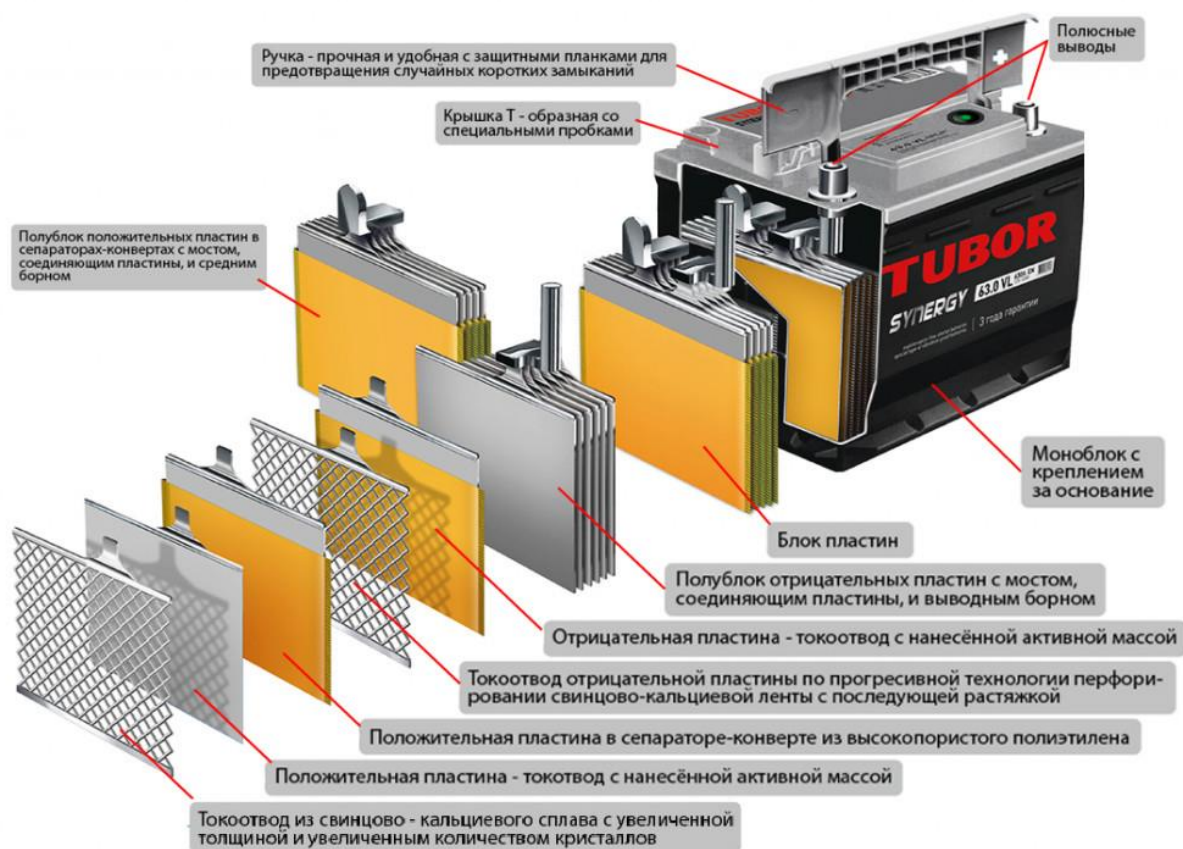


Рисунок 1 – Устройство автомобильной АКБ

Чаще всего батарея состоит из шести аккумуляторов, каждый номинальным напряжением около 2,2В, соединенных последовательно в батарею (рисунок 1).

## 1.2 Специфика зарядки аккумуляторных батарей

Щелочные батареи с ламельной конструкцией обычно используются в качестве тяговых для железнодорожной и складской техники, а также применяются в качестве стационарных. Зарядкой таких аккумуляторов занимаются в основном квалифицированные работники, по этой причине конкретный тип батарей не используется в быту. Существуют, однако, зарядники, предназначенные для заряда бытовых щелочных аккумуляторов,



которые также известны как щелочные. К ним относятся АА, ААА и подобные форматы перезаряжаемых батарей, а также системы Ni-Cd и Ni-MH.

Процесс зарядки щелочных аккумуляторов сильно отличается от сходного процесса у других типов аккумуляторных батарей. При этом отдельно выделяют особенности зарядки никель-кадмиевых и никель-металлгидридных аккумуляторов [10].

Существует различные стадии процесса зарядки, разные способы фиксации окончания заряда. Например, наиболее популярными методиками зарядки щелочных аккумуляторов можно назвать следующее:

- при постоянном зарядном токе;
- при ступенчатом изменении тока заряда;
- при снижении тока заряда;
- при постоянном напряжении.

Другой вид батарей – литиевые. «Существует несколько схем зарядки литиевых аккумуляторов. Чаще используется двухэтапная зарядка, разработанная компанией SONY. В данном случае не используются устройства с применением импульсного заряда и ступенчатой зарядки, как для кислотных АКБ» [4].

«Зарядка любых разновидностей ионно-литиевых или литий-полимерных аккумуляторов требует строгого соблюдения напряжения. На одном элементе заряженного литиевого аккумулятора должно быть не больше 4,2 В. Номинальным напряжением для них считается 3,7 В» [6].

Литиевые аккумуляторы выгодно отличаются тем, что их можно зарядить достаточно быстро за счет неполной зарядки и дозарядить впоследствии. Работа батареи на 40-80% емкости удлиняет срок годности АКБ.

Отдельно следует упомянуть двухступенчатую схему зарядки батарей литиевых аккумуляторов. Принцип схемы CC/CV – постоянная сила зарядного тока / постоянное напряжение. Еще до первого этапа зарядки

следует так называемый «предэтап», который необходим для восстановления глубоко севшего литиевого аккумулятора с напряжением на клеммах не менее 2,0 В. Первый этап должен восстановить от 70 до 80% емкости, при этом ток зарядки обычно выбирается 0,2-0,5. Ускоренный заряд возможен при значении тока от 0,5 до 1,0. На первом этапе напряжение зарядки должно быть стабильно равно 5 В. Когда достигнуто напряжение на клеммах аккумулятора 4,2, это служит сигналом для перехода ко второму этапу [13].

На втором этапе зарядное устройство поддерживает стабильное напряжение на клеммах, в то время как «зарядный ток по мере поднятия емкости снижается. При уменьшении его значения до 0,05-0,01 зарядка закончится, а само устройство отключится, не допуская возможности перезарядки. Общее время восстановления емкости для литиевого аккумулятора не превышает трех часов» [9].

В случае если литий-ионная батарея разряжена глубже 3,0 В, потребуется провести «толчок», то есть зарядку с использованием малого тока до тех пор, пока на клеммах не будет значения, равного 3,1 В. Далее может применяться обычная схема.

Поскольку «литиевые аккумуляторы работают в узком диапазоне изменения напряжения на клеммах, их нельзя перезаряжать выше 4,2 В и допускать разрядку ниже 3 В. Контроллер заряда установлен в зарядном устройстве. Однако каждый аккумулятор или батарея имеют собственные прерыватели, РСВ плату или РСМ модули защиты. В случае нарушения параметра, защита должна отключить банку, разорвать цепь» [2].

Именно поэтому в процессе зарядки необходимы контроллеры. Контроллер – это устройство, которое должно реализовать функции управления: переводить режимы CC/CV, контролировать количество энергии в банках, отключать зарядку [16].

Существуют самодельные схемы зарядки, применяемые для литиевых аккумуляторов:

- LM317 – схема простого зарядного устройства с индикатором заряда, от USB порта не запрашивается;
- MAX1555, MAX1551 – схемы специально для Li аккумуляторов, устанавливаются в адаптер питания от телефона в USB, имеют функцию предварительного заряда;
- LP2951 – схема, при которой стабилизатор ограничивает ток, формирует стабильное напряжение 4,08–4,26 В;
- MCP73831 – одна из простейших схем, которая подходит для зарядки ионных и полимерных устройств.

«Если батарея состоит из нескольких банок, разряжаются они не всегда равномерно. При зарядке необходим балансир, распределяющий заряд и обеспечивающий равномерный заряд всех банок в батарее. Балансир может быть отдельным или встроенным в схему подключения АКБ» [2].

Устройство защиты батареи носит название BMS или Battery Management System. При наличии надлежащих знаний в сфере зарядки приборов и схемотехнике, можно своими руками собрать схему защитного устройства для литиевого аккумулятора.

«Каждый литиевый аккумулятор представляет собой герметичное изделие цилиндрической, призматической формы, для Li-pol – в мягкой упаковке. Все они имеют напряжение 3,6–4,2 В и разную емкость, измеряемую в мА/ч. Если собрать последовательно три банки, получится батарея с напряжением на клеммах 10,8–12,6 В. Емкость при последовательной зарядке измеряется по самому слабому литиевому аккумулятору в связке» [4].

Если стоит цель зарядить литиевый аккумулятор 18650 или Pol на 12 вольт, необходимо обладать специфическим набором знаний. «Для возвращения прибору емкости необходимо использовать ЗУ с контроллером. Важно иметь в сборке РСМ для каждой банки, защиту от недостаточного и излишнего заряда. Другая схема незащищенных литиево-ионных аккумуляторов – установка РСВ – управляющей платы» [15], которую лучше

осуществлять с балансиром, поскольку это способствует равномерной зарядке банок.

На зарядном устройстве необходимо задать напряжение, под которым работает батарея, равным 12,6 В. На приборной доске устанавливается количество банок и ток зарядки, равный 0,2–0,5 С.

Если же говорить о зарядке литиевого аккумулятора шуруповерта, то она считается оптимальной, когда остается 20–50 % емкости. Чем чаще производится зарядка, «тем стабильнее напряжение на клеммах и длиннее жизнь источника энергии. Чем ровнее напряжение на клеммах, тем больше циклов выдержит литиевый аккумулятор шуруповерта» [4], как показано в таблице 1 ниже.

Таблица 1 – Зависимость количества циклов заряд-разряд от глубины разряда

Глубина разряда, %	Количество циклов заряда, ед.
100	500
50	1500
25	2500
10	4 700

Если в шуруповерте два аккумулятора, рекомендуется снять один из них, а второй зарядить примерно на половину и держать в резерве. Лучшей температурой для заряда принято считать плюс 15–25 С. При отрицательных температурах батарея шуруповерта не сможет зарядиться, однако сможет продолжать работу вплоть до минус 10 С [17].

Конкретный алгоритм зарядки литиевого аккумулятора шуруповерта зависит от схемы сбора батареи из банок. Напряжение на ЗУ в любом случае «должно быть равно заявленному для прибора, а сила тока на первом этапе» [1] должна равняться 0,5 С.

### 1.3 Восстановление АКБ

«Сульфатация (или сульфатирование) – в химии и в целом, это реакция серной кислоты с другими веществами, в результате которой образуются сложные по структуре и трудно разрушимые связи. Это свойство кислоты с успехом используется в некоторых промышленных сферах для получения полезных продуктов. В случае с автомобильными свинцово-кислотными аккумуляторными батареями сульфатация является вредной реакцией, пагубно сказывающейся на протекании полезных электрохимических реакций и, как следствие, ведет к снижению ключевых характеристики АКБ [18].

Сульфатация является далеко не единственной проблемой автомобильных аккумуляторов. Существует также такое понятие как саморазряд (как естественный, так и «нажитый»), короткое замыкание в ячейках и другие неисправности. У сульфатации есть ряд характерных для нее признаков» [3], которые будут перечислены ниже.

Аккумулятор часто оказывается полностью разряженным несмотря на то, что система зарядки в автомобиле работает исправно (при работающем двигателе напряжение не ниже 14,1 В), и ток утечки находится в пределах нормы (до 0,07 А или 70 мА). Признак обычно проявляется с приходом отрицательных температур.

«Аккумулятор слишком быстро заряжается. Новая или заведомо исправная АКБ с глубокого разряда до 100% заряжается рекомендуемым током (не более 10% от емкости)» [20] от 15 до 20 часов. Одна из причин в таком случае заключается в сульфатации, хотя причиной резкого уменьшения емкости может быть и короткое замыкание в одной из «банок».

Низкая плотность электролита. «Чтобы плотность электролита достигала нормы в 1,26–1,28 единиц, в электролит при зарядке АКБ должна вернуться вся покинувшая его кислота» [11]. Если большая ее часть осталась

на свинцовых пластинах в виде сульфатов, поднять плотность естественным путем не представляется возможным.

Реальная емкость АКБ существенно ниже номинальной. Номинальная емкость является фиксированной и указана на корпусе аккумулятора. Реальную же емкость можно измерить при помощи приборов, которые нагружают АКБ и подсчитывают сколько ампер-часов энергии удалось из нее «выкачать». Когда реальная измеренная емкость оказывается ниже номинальной на 5–10%, это можно списать на некачественную зарядку АКБ. Если разница составляет более десяти ампер-часов, это является признаком сульфатации [19].

Налет на пластинах. Такой налет возможно увидеть только на тех АКБ, у которых есть пробки для доступа к электролиту.

Еще одно важное понятие – десульфатация. «Десульфатацией называется обратный сульфатации процесс. При нормальных условиях эксплуатации он происходит естественным образом во время каждого заряда АКБ. Если же сульфаты свинца настолько толстые и прочные, что обычная зарядка их «не берет», прибегают к принудительной десульфатации. Цель этой процедуры, независимо от методов – разрушить нерастворимые образования на токопроводящих пластинах, увеличить площадь свинца, контактирующего и взаимодействующего с электролитом» [5].

«Успешная десульфатация увеличивает продолжительность зарядки АКБ с глубокого заряда до 100%. Заметно увеличившееся время заряда разряженного аккумулятора тоже является показателем положительного результата десульфатации» [5].

Важно заметить, что не все аккумуляторы поддаются десульфатации. Критерии оценки аккумулятора, с которым есть смысл проводить десульфатацию перечислены далее.

Срок службы. Аккумуляторы, отслужившие в не очень благоприятных условиях более 5 лет десульфатированию поддаются крайне редко.

Длительность пребывания в состоянии глубокого разряда. Это один из самых ключевых моментов для АКБ всех типов и технологий. В случае со свинцово-кислотными АКБ при хранении в разряженном состоянии сульфаты становятся настолько прочными, что не поддаются десульфатации. Отмечается, что простоявшие более трех месяцев в глубоком разряде АКБ восстановить почти невозможно.

Количество глубоких разрядов (для Ca/Ca АКБ). Обычно двух-трех таких разрядов хватает, чтобы батарея потеряла до половины своей емкости безвозвратно.

«Состояние корпуса. Визуально аккумулятор должен быть целым, без деформаций, трещин, сколов и вздутий. Рекомендуется промыть корпус водой с содой перед десульфатацией. Электролит с пылью – отличный проводник тока, и грязные аккумуляторы могут разряжаться сами на себя очень быстро. Особенно, если в них из-за сульфатации осталось не так много ампер-часов» [1].

Состояние выводов. Выводы должны быть целыми, не отошедшими от корпуса, почищенными до блеска, нормальной формы.

Состояние ячеек.

Способность принимать заряд. Абсолютно все адекватные способы десульфатации аккумулятора базируются на его способности заряжаться.

Работоспособность АКБ после обычной зарядки.

Саморазряд. Если за сутки батарея сама по себе высаживается в ноль, это значит, что она не поддается десульфатации.

Состояние электролита. Электролит должен быть прозрачный. В противном случае десульфатация бессмысленна.

Существует несколько способов десульфатации АКБ. Первый способ заключается в том, чтобы провести несколько полных циклов «заряд-разряд». Данный метод помогает лишь в тех случаях, когда сульфатация не глубокая. Если сульфатов совсем немного (емкость несильно просела от номинала), то

в большинстве случаев уже этого достаточно для полного восстановления аккумуляторной батареи.

Для этого применяется следующий алгоритм:

- настроить зарядное устройство на минимальный ток 1–3 А;
- зарядить батарею стабильным током;
- при достижении напряжения на клеммах 14,4–14,5 В продолжить заряд, не превышая этот показатель;
- заряжать АКБ до тех пор, пока при указанном напряжении ток заряда не снизится до 0,1–0,3 А;
- сразу после заряда разрядить аккумулятор нагрузкой в виде лампочки или прибором для измерения емкости до напряжения 10,5 В (под нагрузкой);
- повторите цикл заряда;
- измерить реальную емкость аккумулятора;
- при необходимости повторить заряд описанным способом;
- зарядить аккумулятор еще раз, оценив после этого плотность электролита и состояние пластин;

Чаще всего, если аккумулятор не сильно поврежден сульфатацией, двух-четырех таких циклов хватает, чтобы вернуть ампер-часы.

Второй способ заключается в использовании зарядного устройства с режимом десульфатации, что является эффективным и универсальным методом.

Третий способ – использовать «простое зарядное устройство вместе с нагрузкой в виде лампочки. К этому способу десульфатации аккумулятора прибегают 80% пользователей» [19]. Алгоритм выполнения десульфатации:

- ограничить ток заряда до 1–3 А;
- зарядить АКБ постоянным током;
- раз в 20–40 минут накидывать на выводы АКБ лампочку;



- продолжать разрядку таким способом в течение 5–10 минут в зависимости от мощности нагрузки;
- по достижению напряжения в 14,4–14,5 В продолжать периодически нагружать лампой АКБ при стабильном напряжении;
- когда при указанном напряжении ток заряда снизится до 0,1–0,3 А, завершить цикл;
- измерить количество ампер-часов, которые накопил аккумулятор в итоге.

Десульфатация этом способом выполняется обычно 2–3 раза, после чего прогресс почти незаметен.

#### **1.4 Диагностика АКБ**

Правильная диагностика АКБ состоит из следующих этапов:

- внешний осмотр;
- контроль напряжения на клеммах мультиметром – результат должен составлять не ниже 12,6 В;
- проверка нагрузочной вилкой.

Как сказано выше, чаще всего для диагностики АКБ необходим мультиметр – прибор для измерения напряжения. Проверка аккумулятора производится как при работающем, так и при неработающем двигателе.

Проверка аккумулятора при работающем двигателе. При замере напряжения на заведенном двигателе нормальное напряжение должно варьироваться от 13,5 до 14,0 В.

«Если напряжение аккумулятора при работающем двигателе больше величины в 14,2 В, это свидетельствует о низкой зарядке аккумулятора, а также о том, что генератор работает в усиленном режиме, чтобы зарядить батарею. Это бывает не всегда, например, в холодное время года возможно повышенное напряжение, поскольку аккумулятор мог разрядиться за ночь из-

за холодной температуры, или электроника определяет температуру воздуха и дает больше заряда на аккумулятор» [1].

Отмечается, что «в повышенном напряжении на аккумулятор нет ничего плохого» [6]. Если электрооборудование автомобиля находится в нормальном рабочем состоянии, то «через 5–10 минут электроника скинет напряжение до обычного: 13,5–14,0 В. Если этого не происходит и напряжение постепенно не сбрасывается до оптимальной величины, это может обернуться перезарядом аккумулятора. Он будет работать при максимальной отдаче, что грозит выкипанием электролита» [2].

«Если при работающем двигателе напряжение меньше 13,0–13,4 В, это говорит о том, что аккумулятор полностью не заряжается.

При нормальной работе электроники транспортного средства напряжение должно быть в пределах от 13,5 до 14. Если напряжение ниже, это может сигнализировать о том, что не работает генератор автомобиля. Особенно, если напряжение при работающем двигателе и выключенных потребителях меньше 13,0 В» [1].

Для замеров, проведенных на работающем двигателе, понадобится придерживаться следующих значений:

- менее 13,4 В – напряжение снижено, батарее не хватает заряда, что обусловлено неисправностью генератора или окислением клемм;
- 13,5-14,2 – норма;

более 14,2 – высокое напряжение, что указывает на разрядку АКБ.

«Также указанные значения фиксируются после длительного простоя автомобиля. При этом замер потребует повторить по истечению 10-15 минут работы двигателя. Если показания нормализовались, то все в порядке. В противном случае следует проверить электрическое оборудование машины. Без устранения неисправности велика вероятность закипания электролита» [3].

«Процедура проверки уровня электролита проводится исключительно на аккумуляторных батареях, которые предусматривают техническое обслуживание.

Для этого используется специальная трубочка с делениями из стекла, которая опускается в заливное отверстие АКБ до упора в сепараторные сетки. Затем закрывается пальцем отверстие трубки сверху, и она извлекается. Полученный уровень в трубочке соответствует объему электролита в аккумуляторе. Нормальным является уровень, превышающий верхний край пластин на 10-12 мм.

Снижение уровня электролита обусловлено выкипанием. Для устранения проблемы достаточно добавить дистиллированной воды в соответствующую банку. Непосредственно электролит добавляется только в том случае, когда установлено, что он исчез по каким-либо явным причинам» [4].

Плотность электролита проверяется ареометром для автомобилей.

«Набор жидкости осуществляется грушей из заливного отверстия аккумулятора до момента свободного расположения поплавка. Значения плотности полностью заряженной АКБ: от 1,22 до 1,29 грамм на кубический сантиметр. При разряде на двадцать пять процентов показания плотности составляют 1,18-1,25, а на 50% – 1,14-1,21. Потеря плотности в 0,01 грамм на кубический сантиметр по отношению к номиналу соответствует потере заряда АКБ на 5-6%. Также потребуется учитывать климатические особенности эксплуатации аккумуляторной батареи» [3].

«При неработающем двигателе можно проверить напряжение аккумулятора с помощью мультиметра. Для контроля состояния АКБ мультиметром понадобится на приборе выбрать режим измерения постоянного напряжения. При этом предел измерения потребуется ограничить 20 В или ближайшим значением, в зависимости от конкретной модели используемого мультиметра.

Для выполнения замера напряжения потребуется конец щупа с красным проводом присоединить к плюсовой, а с черным к минусовой клемме аккумулятора.

Операции проводятся при полностью отключенном электрооборудовании.

Если напряжение менее 11,8–12,0, это свидетельствует о том, что аккумулятор разряжен, автомобиль может не завестись. Нормальное напряжение на аккумуляторе при неработающем двигателе должно составлять от 12,5 до 13,0 В.

При замере на остановленном моторе установлены следующие нормы» [2]:

- 11,7 В – источник питания разряжен;
- 12,1-12,4 – уровень заряда соответствует 50%;
- 12,5-13,2 – заряд в норме.

«Уровень заряда аккумулятора говорит о его способности держать напряжение на протяжении некоторых дней. Если аккумулятор полностью заряжен, то даже при долгом отсутствии эксплуатации автомобиля напряжение не сильно упадет. В противном случае, если батарея разряжена, напряжение будет падать быстро и заряд аккумулятора продержится недолго» [14].

Кроме всего вышперечисленного существует методика проверки аккумулятора с помощью нагрузочной вилки. Нагрузочная вилка – это электрическая цепь, которая состоит из резистора, проводников, клемм и вольтметра.

Резистор подбирается на выдерживание определенной токовой нагрузки.

При проверке аккумулятора нагрузочной вилкой необходимо:

- Не испытывать АКБ в холодном состоянии. Минимально допустимый температурный режим +15 градусов. Рекомендуемый диапазон от 20 до 25 градусов выше нуля.

- Устройство подключается к клеммам аккумуляторной батареи в следующей последовательности: черный провод к минусу, красный к плюсу аккумуляторной батареи.
- Токовая нагрузка должна составлять от 100 до 200 Ампер, что соответствует режиму с крутящимся стартером.
- Нагрузка прикладывается на время от пяти до шести секунд.

По результатам испытаний можно зафиксировать следующий уровень заряда АКБ [8]:

- 100% – показания вольтметра более 10,2 В;
- 75 – 9,6;
- 50 – 9;
- 25 – 8,4;
- 0 – менее 7,8.

При снижении показаний вольтметра до 9 В следует подзарядить батарею и провести замер повторно. Если напряжение восстановилось, то все в порядке. Если нет, то скорее всего в одной из банок АКБ короткое замыкание.

Выводы по разделу. Были проанализированы основные типы аккумуляторных батарей, обоснована актуальность их разработки и применения. Приведен обобщенный анализ способов диагностики и восстановления АКБ с применением различных способов.

## 2 Анализ аккумуляторов

Для сравнительного анализа было выбрано несколько наиболее часто используемых видов аккумуляторов: AGM, литий-ионные, литий-полимерные, литий-железо-фосфатные. Результаты проведенного анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительный анализ батарей

Параметр	AGM (свинец)	Li-ion	Li-PO	LiFePO <sub>4</sub>	Li <sub>2</sub> TiO <sub>3</sub>
Вес, кг	10,5	3,2	2,5	3,8	7,8
Максимальная пиковая выдаваемая мощность (~10 секунд), Вт	1000	864	3600	2160	8520
Количество циклов заряд-разряд, ед.	150-200	400-500	300	2500	10000
Скорость зарядки, ч	8	8	2	3	2
Пожаробезопасность	отличная	плохая	очень плохая	отличная	отличная
Температура эксплуатации, °C	от -5 до +50	от 0 до +50	от 0 до +50	от -20 до +60	от -40 до +60
Энергоемкость	низкая	высокая	средняя	средняя	высокая
Снижение емкости и токоотдачи при отрицательных температурах	незначительное	значительное	значительное	незначительное	отсутствует
Цена за комплект АКБ, руб.	12000	22000	20000	23000	22800
Цена АКБ на 1 цикл зарядки, руб.	60	50	55	10	0,38

Для большей наглядности результаты анализа были оформлены в виде графика (рисунок 2):

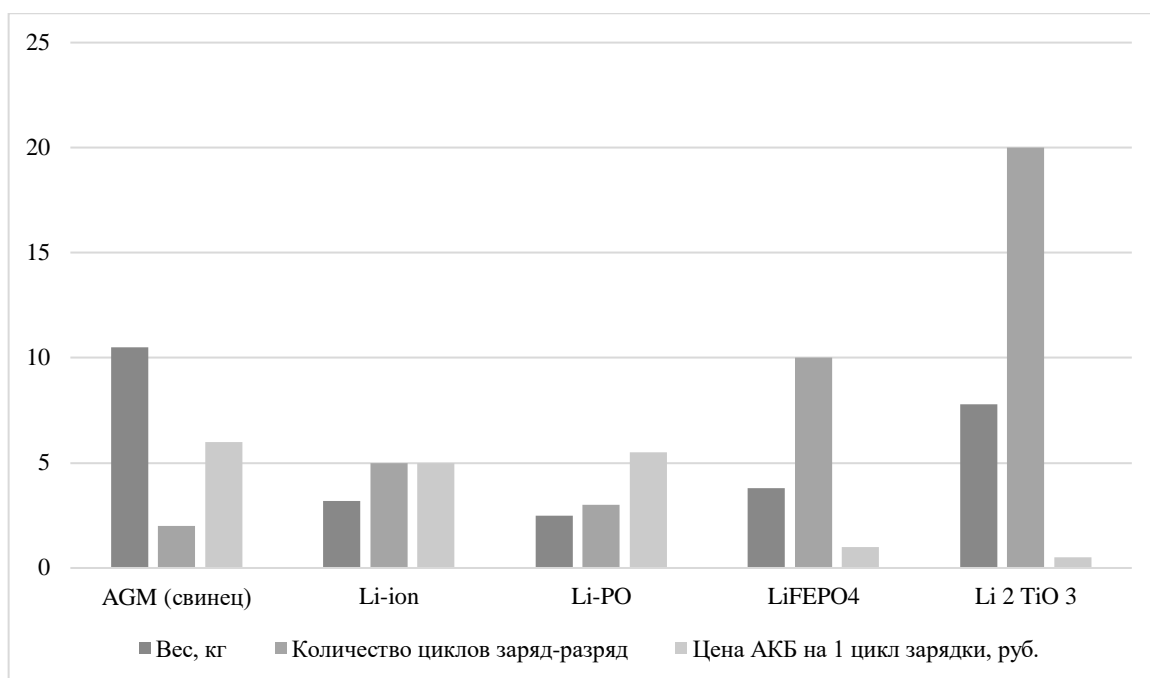


Рисунок 2 – Сравнительный анализ батарей по заданным параметрам

На основании более детального рассмотрения каждого из типов аккумуляторов, был выбран наиболее подходящий для использования в конструкции пуско-зарядного устройства.

## 2.1 Аккумуляторы типа AGM

AGM (Absorbent Glass Mat) – это технология изготовления свинцово-кислотных аккумуляторов, которые отличаются содержанием в них абсорбированного электролита вместо жидкого, что приводит к ряду изменений в свойствах самого аккумулятора. «Аккумулятор AGM (абсорбированный стекломат) содержит специальный сепаратор из стекломата, который впитывает раствор электролита между пластинами аккумулятора. Конструкция позволяет пропитать стекловолокно электролитом и хранить электролит в «сухом» или взвешенном состоянии, а не в свободной жидкой форме. При работе батареи электролит переносится со стекломата на пластины батареи по мере необходимости» [2].

К недостаткам данного вида аккумуляторов можно отнести большой вес, сравнительную недолговечность ввиду малого количества циклов заряд-разряд, большое количество времени, затрачиваемого на зарядку и высокую цену за один цикл зарядки.

В качестве положительных свойств AGM аккумулятора называют его отличную пожаробезопасность и незначительное снижение емкости и токоотдачи при отрицательных температурах [7].

## 2.2 Литий-ионные аккумуляторы

Следующий вид аккумуляторов, а именно литий-ионный (Li-ion), является типом электрического аккумулятора, который «широко распространен в современной бытовой электронной технике и находит применение в качестве источника энергии в электромобилях и накопителях энергии в энергетических системах. Это самый популярный тип аккумуляторов в таких устройствах как сотовые телефоны, ноутбуки, цифровые фотоаппараты, видеокамеры и электромобили» [3]. Внешний вид данного типа аккумуляторов показан на рисунке 3.



Рисунок 3 – Литий-ионный аккумулятор



К литий-ионным аккумуляторам относятся литий-кобальтовые (ICR), литий-марганцевые (IMR), железофосфатные (LiFePO<sub>4</sub>, LiFe, LFP, IFR) и литий-титанатные аккумуляторы.

Анализ показал, что положительными качествами химии Li-ion выступает небольшой вес батареи, высокая энергоемкость, достаточно большое количество циклов заряд-разряд. Однако при перезаряде, несоблюдении условий заряда или при механическом повреждении данный тип аккумулятора может быть опасен, а также теряет емкость на холоде.

### 2.3 Литий-полимерные аккумуляторы

Литий полимерный аккумулятор представляет собой усовершенствованную конструкцию литий-ионного аккумулятора, где в качестве электролита используется полимерный материал (рисунок 4).



Рисунок 4 – Литий-полимерный аккумулятор

Данный вид выгодно отличается большой плотностью энергии на единицу массы, высокой максимальной пиковой выдаваемой мощностью, быстрой скоростью зарядки. Недостатками, однако, являются плохая

пожаробезопасность, малое количество циклов заряд-разряд и значительное снижение емкости и токоотдачи при отрицательных температурах. Кроме того, довольно высокой является цена АКБ на один цикл зарядки.

#### 2.4 Литий-железо-фосфатные аккумуляторы

«Литий-железо-фосфатные аккумуляторы ( $\text{LiFePO}_4$ ) – это функциональные батареи с высокой энергетической плотностью и существенным рабочим ресурсом. Они сохраняют функционал в большинстве климатических зон и требуют минимального обслуживания со стороны пользователя» [4]. Внешний вид показан на рисунке 5.

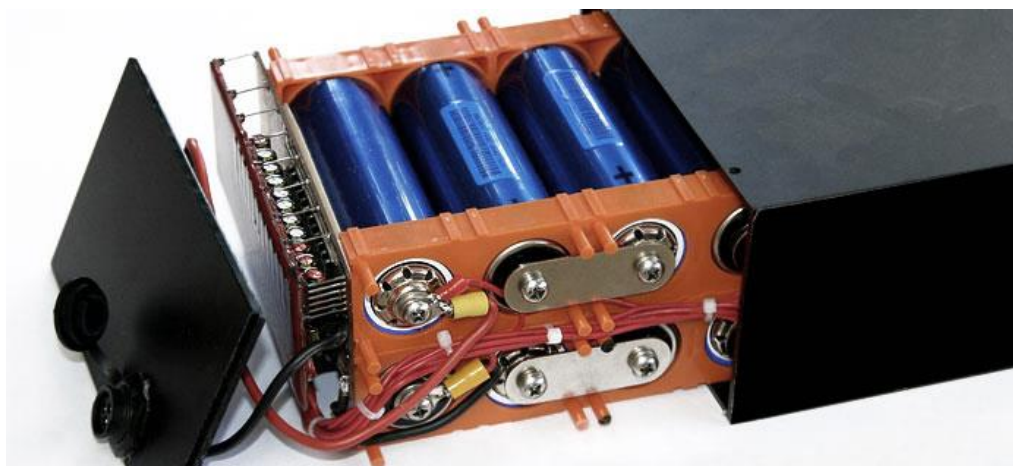


Рисунок 5 – Литий-железо-фосфатный аккумулятор

К достоинствам таких аккумуляторов принято относить стабильность напряжения вплоть до полного разряда батареи, широкий диапазон рабочих температур, небольшой вес и компактность, высокий ток заряда и пиковое напряжение. Главным недостатком литий-железо-фосфатных аккумуляторов можно назвать их высокую стоимость по сравнению с аналогами.

## 2.5 Литий-титанатные аккумуляторы

Наконец, литий-титанатный аккумулятор – это один из вариантов «литий-ионных аккумуляторов, который отличается тем, что в нем используется пентатитанат лития ( $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ) в качестве анода вместо графита, применяемого в большинстве других вариантов. Для увеличения площади анод имеет нанокристаллическое строение» [5].

Как показывает анализ, данный тип аккумуляторов превосходит остальные варианты по таким параметрам, как: максимальная пиковая выдаваемая мощность, реальное количество циклов зарядки, скорость зарядки, пожаробезопасность, температура эксплуатации, энергоемкость и цена АКБ на 1 цикл зарядки. Таким образом, проведенное исследование обосновывает выбор данного типа аккумулятора в качестве компонента изготавливаемого пуско-зарядного устройства [12].

Выводы по разделу. Было проведено сравнение ключевых видов аккумуляторов, которые наиболее часто используются в бытовых приборах. Обозначены преимущества и недостатки каждого из видов. Отдельно рассмотрен литий-титанатный аккумулятор, принятый за основу при проектировании и подборе компонентов разрабатываемой пуско-зарядной станции.

### 3 Разработка мобильного пуско-зарядного устройства

#### 3.1 Подбор компонентов

Перед началом проектирования был определен ряд ключевых понятий, которые будут использоваться в ходе разработки пуско-зарядной станции и подбора необходимых компонентов.

Номинальная емкость – емкость, которую должен отдать новый полностью заряженный аккумулятор в нормальных условиях разряда.

Номинальное напряжение – условная величина напряжения, указанная изготовителем, характеризующая данный аккумулятор.

Внутреннее сопротивление – общее сопротивление всех составных частей батареи.

Жизненный цикл – количество циклов разрядки/зарядки, которое он может пройти, прежде чем его емкость упадет до 80%.

Электролит – водный раствор серной кислоты, предназначенный для использования в свинцово-кислотных аккумуляторных батареях.

Микроконтроллер – устройство, которое автоматически регулирует уровень тока и напряжения от источника.

Литий-титанатный аккумулятор – вариант литий-ионных аккумуляторов, использующий пентатитанат лития в качестве анода вместо графита [11].

Разработка мобильного пуско-зарядного устройства начинается с подбора компонентов. За основу были взяты шесть ячеек  $\text{Li4Ti5O12}$  (литий-титанат) батареи формата 66160. Данные батареи имеют следующие характеристики:

Номинальная емкость: 40 А·ч

Номинальное напряжение: 2,3 В

Размер батареи: 66 x 160 мм, без наконечников

Вес батареи: около 1,25 кг

Внутреннее сопротивление: менее 3 мкОм

Жизненный цикл: более чем 20000 раз

Комбинация: возможные варианты – 5s 10s 15s 20s и т. д.

Напряжение зарядки: 2,80 В

Стандартный ток зарядки: 10 А, быстрая зарядка – 30 А

Ток непрерывной разрядки: 5С 200 А

Максимальный ток разряда: 15С 600 А

Критическое разрядное напряжение: 1,5 В

Температура зарядки: -40 ~ 45 градусов по Цельсию

Температура разрядки: -40 ~ 60 градусов по Цельсию

Температура хранения: -40 ~ 45 градусов по Цельсию

Широкое применение: электромобиль, электрический велосипед, трехколесный велосипед, скутер, тележка для гольфа, тележка, инвалидная коляска, медицинский инструмент, солнечная система питания, солнечная панель, хранилище энергии, электрические инструменты, электроинструменты, инструменты, светодиодный осветительный прибор, радиоуправляемые игрушки, инвертор, бытовая техника и область устройства, и т. д.

Характеристики литиевых титановых батарей представлены ниже.

Высокая мощность заряда и разрядки: быстрая зарядка занимает всего 6 минут.

Очень длительный срок службы: в 10 раз больше, чем традиционные литий-ионные батареи.

Низкая температура зарядки и разрядки, отличная производительность: низкая температура, -30 температура, хорошее состояние. Хорошая безопасность. Литиевый титановый отрицательный электрод почти не имеет пленки SEI, тем самым избегая перегрева батареи и вызывая пожар.

Состав:

Положительный полюс: литий-железо-фосфат, литиевый манганат или три юаня, никель-литиевый манганат.

Отрицательный полюс: материал титанита лития.

Диафрагма: сепаратор литиевой батареи, который использует углерод в качестве отрицательного электрода.

Электролит: электролит литиевой батареи с углеродом в качестве отрицательного электрода.

Корпус батареи: корпус литиевой батареи с углеродом в качестве отрицательного электрода (рисунок 6).



Рисунок 6 – Литий-титанатные аккумуляторы

В качестве зарядного устройства был взят за основу ВЫМПЕЛ 37. Данное устройство имеет следующие характеристики:

Напряжение на входе: 180-240 В

Напряжение на выходе: 16,1 В

Ток на выходе: 0,8-20 А

Имеется регулировка выходного напряжения и плавная регулировка выходного тока.

### 3.2 Определение параметров батареи

Батарея пуско-зарядного устройства проектировалась исходя из специфики подобранных элементов. На этапе разработки учитывались такие ключевые параметры, как долговечность, относительно небольшой вес и малая стоимость.

Емкость заряжаемой батареи: 8-250 А·ч

Поддерживаемые батареи: предназначено для заряда 12 В кислотных, тяговых и лодочных АКБ, АКБ типа AGM, EFB, АКБ с гелиевым электролитом: Long Life, Deep-Cycle, в том числе полностью разряженных.

Минимальный остаточный заряд батареи: 2 В

Длина провода: 1,5 м

Активное охлаждение: есть

Индикатор заряда: есть

Индикатор питания: есть

Рабочая температура: от -10 до +40 °С

Класс защиты: IP20

Габариты: ширина 155 мм, высота 85 мм, глубина 200 мм, вес 1 кг

Для того чтобы это все работало в связке был использован контроллер Arduino UNO на микроконтроллере ATmega 328. Микроконтроллер, изображенный на рисунке 7, имеет следующие характеристики:

Ядро: 8-битный AVR

Тактовая частота: 16 МГц

Flash-память: 32 КБ

РАМ-память: 2 КБ

EEPROM-память: 1 КБ

Пины ввода-вывода: 20

Пины с прерыванием: 2

Пины с АЦП: 6

Разрядность АЦП: 10 бит

Пины с ШИМ: 6

Разрядность ШИМ: 8 бит

Аппаратные интерфейсы: 1× UART, 1× I<sup>2</sup>C, 1× SPI

Напряжение логических уровней: 5 В

Входное напряжение питания:

через USB: 5 В

через DC-разъем или пин Vin: 7,5–12 В

Максимальный выходной ток пина 3V3: 150 мА

Максимальный выходной ток пина 5V: 1 А

Размеры: 69×53 мм

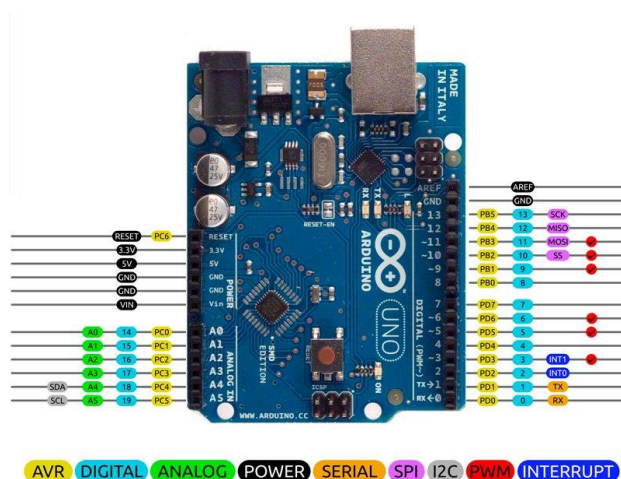


Рисунок 7 – Контроллер Arduino UNO

В качестве силовых реле (рисунок 8), которые смогут выдержать большой ток, были использованы два автомобильных реле постоянного тока, имеющие следующие характеристики:

Номинальное напряжение: 12 В

Номинальный ток: 200 А





Рисунок 8 – Силовые реле

Для балансировки аккумуляторных батарей была использована VENSTROW 6S BMS.

Система управления батареи BMS представлена на рисунке 9.

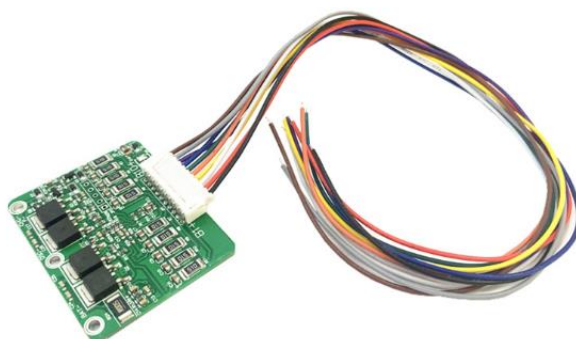


Рисунок 9 – BMS

BMS имеет следующие характеристики:

Напряжение: 12 В

Источник питания: постоянный ток

Потребляемый ток: 0,2 мА / 0,1 мА

Вес: 0,300 г

Размер логистики: длина – 1 см, высота – 0,4 см, ширина – 1 см.

### 3.3 Разработка 3д-модели

Разработка 3д-модели начинается с подбора компонентов и удобства пользования. На основе данных характеристик формируются примерные габариты мобильного пуско-зарядного устройства.

Для устройства была разработана пространственная рама, представленная на рисунке 10:

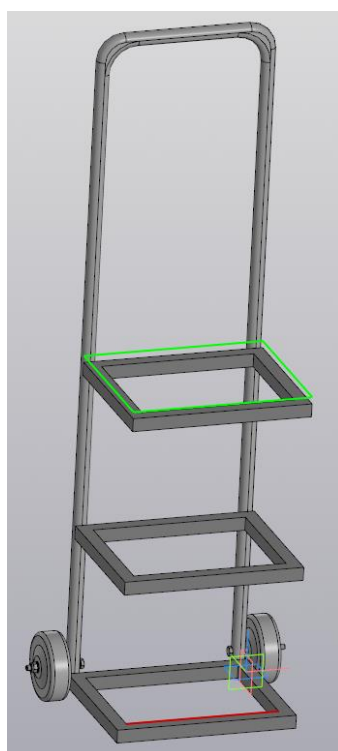


Рисунок 10 – Модель пространственной рамы пуско-зарядного устройства

Рама пуско-зарядного устройства имеет следующие габариты:

Высота: 990 мм

Ширина: 270 мм

Длина: 220 мм

Габариты такой конструкции позволяют вместить все необходимые элементы, а за счет наличия ручки и колесиков данная конструкция удобна для транспортировки (рисунок 11).

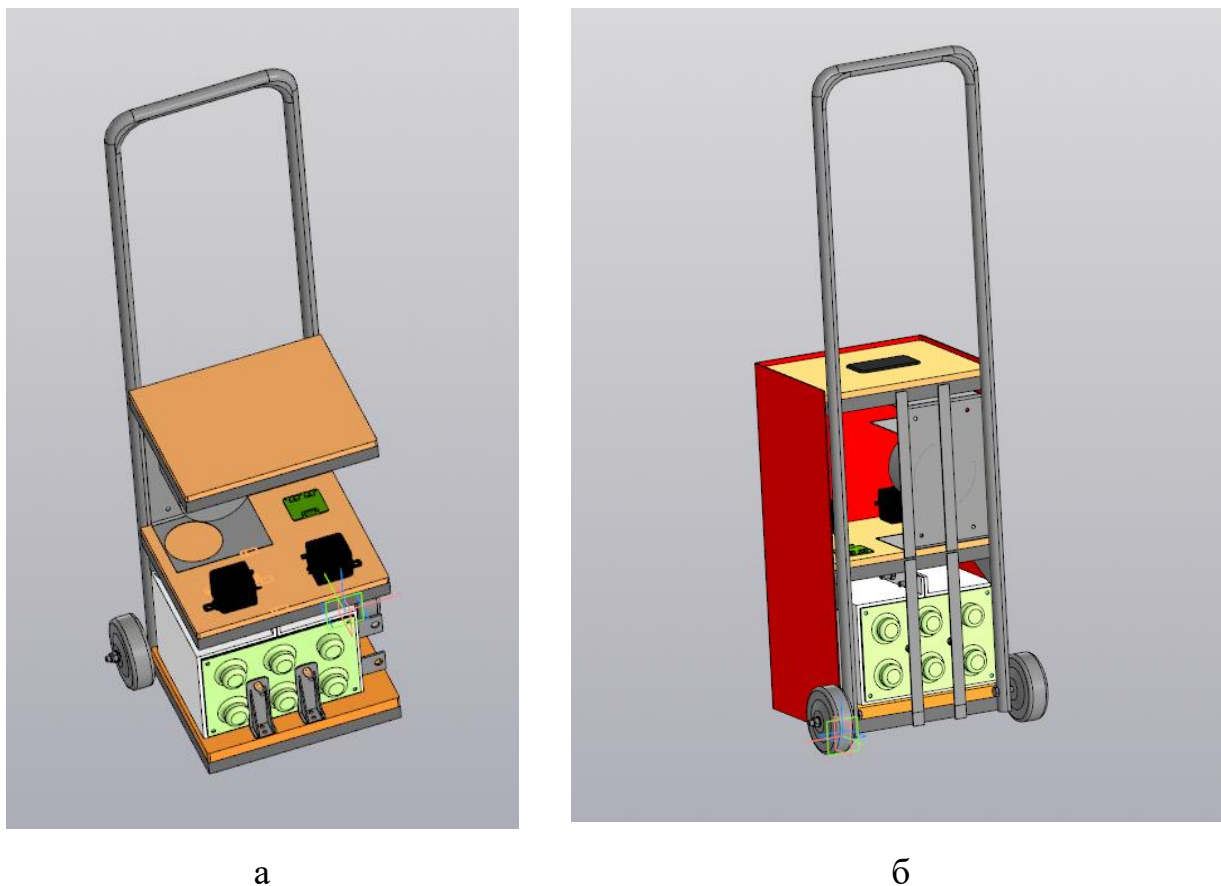


Рисунок 11 – Модель пуско-зарядного устройства в сборе: а – вид спереди, б – вид сзади

Конечный продукт имеет следующие характеристики:

Номинальная емкость: 40 А·ч

Номинальное напряжение: 13,8 В

Номинальный пусковой ток: 400 А

Максимальный пусковой ток: 600 А

Напряжение на входе: 180-240 В

Напряжение на выходе: 16,1 В

Ток на выходе: 0,8-20 А

Регулировка выходного напряжения: да

Регулировка выходного тока: плавная

Емкость заряжаемой батареи: 8-250 А·ч

Высота: 991,6 мм

Ширины: 390 мм

Длина: 232 мм

Ниже на рисунке 12 представлена принципиальная схема устройства.

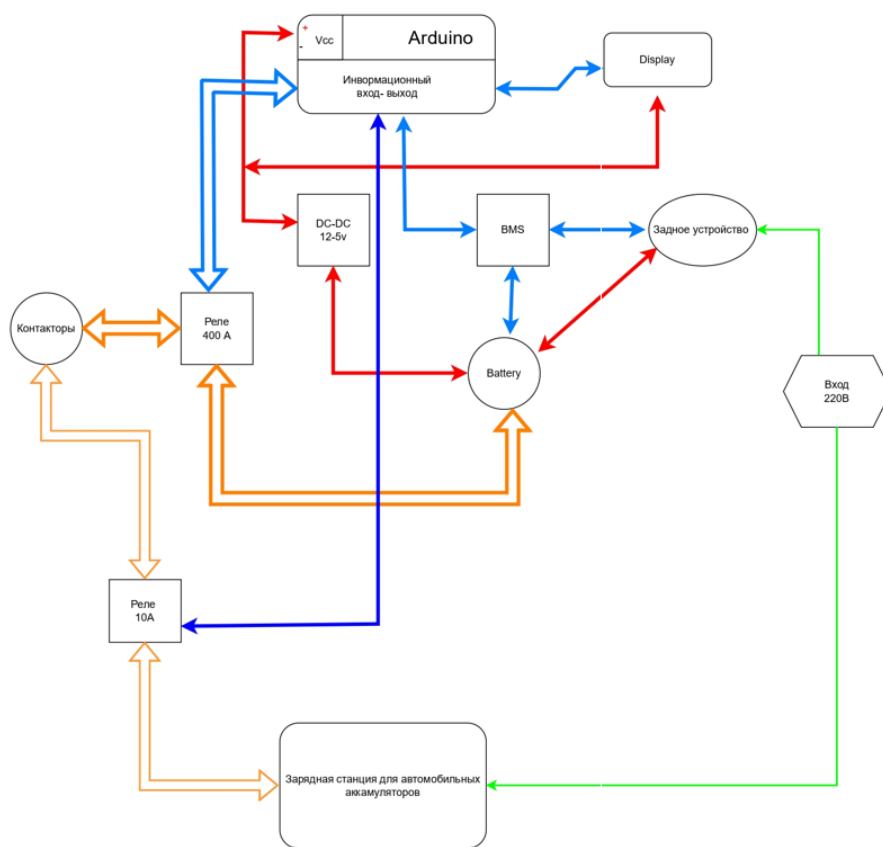


Рисунок 12 – Принципиальная схема

Внешний вид изготовленного прототипа мобильного пуско-зарядного устройства представлен на рисунке 13 ниже.



Рисунок 13 – Внешний вид готового прототипа – мобильного пуско-зарядного устройства

Полученная мобильная пуско-зарядная станция является долговечной за счет большого количества циклов заряд-разряд, а также многофункциональной и маловосприимчивой к погодным условиям (в частности, к критическим отрицательным температурам во время эксплуатации).

Станция является мобильной благодаря предусмотренным в конструкции колесикам и удобной эргономичной ручке.

Выводы по разделу. Были подобраны компоненты, разработана 3д-модель пуско-зарядной станции, рассчитаны параметры батареи.

#### 4 Инструкция для работы с пуско-зарядным устройством

Для удобства пользования была дополнительно разработана инструкция для работы с пуско-зарядным устройством. На рисунке 14 показана панель управления ПЗУ.

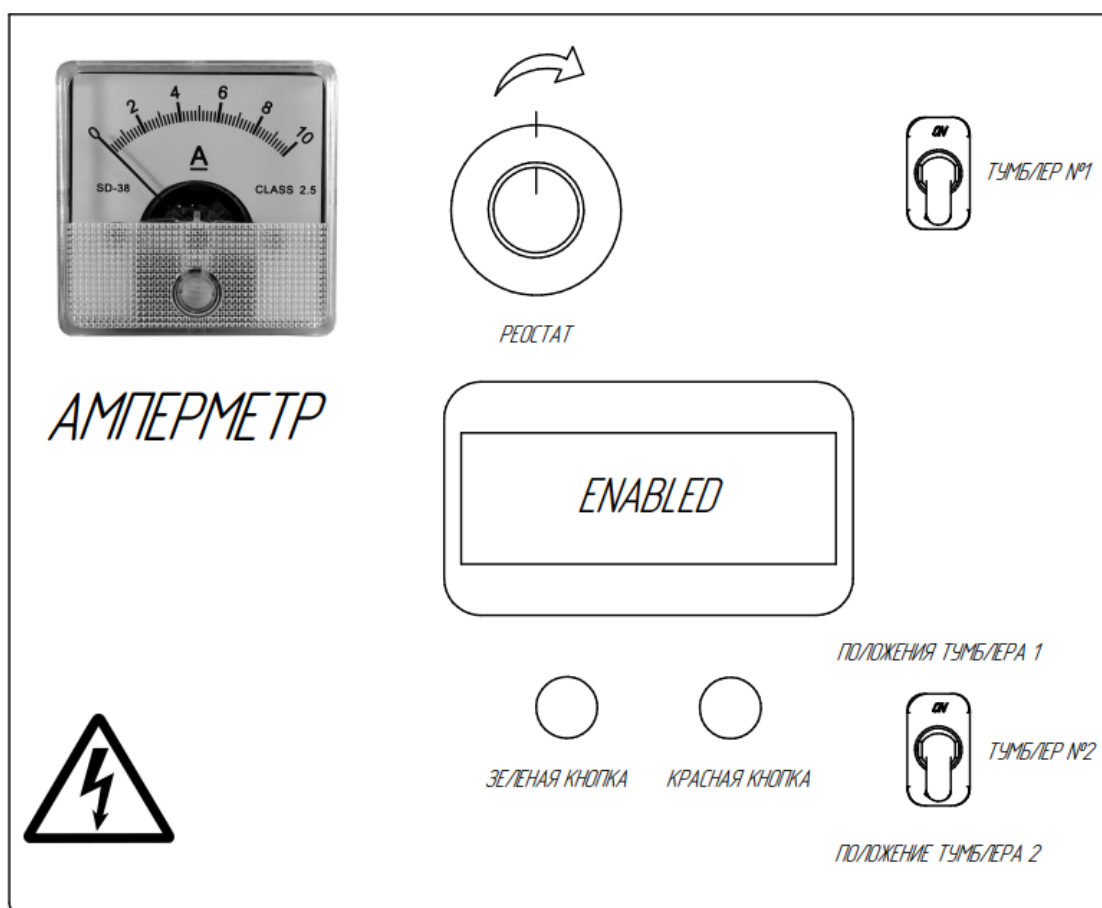


Рисунок 14 – Панель управления пуско-зарядного устройства

Для включения пуско-зарядного устройства:

- перевести тумблер №1 в положение ON;
- подсоединить клещи к контактам аккумулятора;
- красным проводом необходимо подсоединить к клемме аккумулятора «+»;

- черным проводом необходимо подсоединить к клемме аккумулятора «-»;
- предупреждение: не допускайте касания клещей между собой;
- нажать красную кнопку;
- на экране должна появиться надпись ENABLED.

Для выключения пуско-зарядного устройства:

- нажать зеленую кнопку;
- на экране должна появиться надпись SHUTDOWN;
- отсоединить клещи от заряжаемого аккумулятора;
- предупреждение: не допускайте касания клещей между собой;
- перевести тумблер №1 в положение OFF.

Для зарядки аккумуляторной батареи пуско-зарядного устройства:

- подсоединить провод 220 В к розетке;
- перевести тумблер №2 в положение 1.

Для зарядки автомобильного аккумулятора с помощью пуско-зарядного устройства:

- подсоединить клещи к контактам аккумулятора;
- красным проводом необходимо подсоединить к клемме аккумулятора «+»;
- черным проводом необходимо подсоединить к клемме аккумулятора «-»;
- предупреждение: не допускайте касания клещей между собой;
- перевести тумблер №2 в положение 2;
- реостатом выбрать необходимый ток зарядки.

Выводы по разделу. Представлена инструкция по использованию разработанной мобильной пуско-зарядной станции.

## Заключение

Актуальность проведенной работы объясняется широким использованием пуско-зарядных устройств для подзарядки автомобильных аккумуляторов, а также для запуска транспортных средств при отрицательных температурах окружающей среды.

Цель работы, которая заключалась в изготовлении мобильного пуско-зарядного устройства с повышенным количеством циклов заряд-разряд, была достигнута в ходе выполнения ряда задач, а именно:

- сбор информации и проведение анализа существующих типов аккумуляторов,
- подбор компонентов для пуско-зарядного устройства,
- определение параметров батареи,
- создание и доработка 3д-модели пуско-зарядного устройства,
- изготовление прототипа.

В работе представлен сравнительный анализ наиболее распространенных видов аккумуляторов. На основе данного анализа в качестве батареи пуско-зарядного устройства был выбран литий-титанатный аккумулятор. На финальный выбор химии аккумулятора в наибольшей степени повлияла его долговечность – до 20 тыс. циклов заряд-разряд. Это позволяет обеспечить более дешевую себестоимость каждой зарядки. Кроме того, данный тип аккумуляторов превосходит остальные варианты по максимальной пиковой выдаваемой мощности, скорости зарядки, пожаробезопасности, температуре эксплуатации.

Последняя глава посвящена подбору необходимых компонентов и созданию наглядной модели прототипа мобильной пуско-зарядной станции, а также описанию ее ключевых параметров. Для удобства пользования была составлена инструкция с указаниями по запуску и отключению ПЗУ, а также с описанием режимов ее работы. Кнопки и тумблеры мобильного зарядного устройства обозначены на его панели управления.



## Список используемой литературы и используемых источников

1. Аппазов Э. С. Использование тепловых аккумуляторов для предпусковой подготовки автомобильных двигателей судов // Вестник Херсонского национального технического университета. 2014. №2. С. 1–4.
2. Брачунова У. В. Численное моделирование зарядного баланса легкового автомобиля // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. №9. С. 453–458.
3. Бураков М.А. Влияние эксплуатационных факторов на работу литий-ионного аккумулятора / Бураков М.А., Липкин М.С., Семенкова А.В., Писарева А.Г. // Символ науки. – 2019. – С. 1–2.
4. Власенко А. Новые микроконвертеры фирмы Analog Devices: контроль автомобильного аккумулятора // Компоненты и Технологии. 2006. №11. С. 90–91.
5. Захаров И.А. Зарядное устройство для свинцово-кислотных автомобильных аккумуляторов 40 Ач // Инновационная наука. – 2022. – С. 1–3.
6. Иваненко В. И., Владимирова С. В., Локшин Э. П., Куншина Г. Б., Беляевский А. Т. Синтез и электрохимические свойства анодного материала на основе титаната лития // Труды Кольского научного центра РАН. 2018. С. 1–6.
7. Кучер А. В., Кривуца З. Ф., Щитов С. В., Кузнецовы Е. Е. Повышение пусковых качеств источников энергии автомобиля при адаптации к условиям низкотемпературного использования в агропромышленном комплексе. 2021. №90. С. 173–178.
8. Обрусник В. П., Кобзев А. В., Земан С. К. Автоматизированный агрегат азат-2 для зарядки автомобильных аккумуляторов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 1972. №243. С. 52–57.

9. Овсянников Д. Н., Осколков В. Н. Разработка структур схем зарядных устройств модельного ряда // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2012. С. 262–266.

10. Рипная М. М., Сердюк А. Влияние концентрации свинца в борфтористоводородном электролите на его эксплуатационные и экологические параметры при электрохимической переработке утильных автомобильных аккумуляторов // Строительство и техногенная безопасность. 2020. №18. С. 157–163.

11. Самиков Р. Ф., Нигматуллин Ш. Ф., Разяпов М. М., Козеев А. А., Смольянов А. В., Галин Д. А. Повышение эффективности работы жидкостного подогревателя при предпусковой подготовке двигателя внутреннего сгорания // Инженерные технологии и системы. 2021. №2. С. 304–320.

12. Самиков Р. Ф., Нигматуллин Ш. Ф., Разяпов М. М., Костарев К. В. Исследование способа повышения энергоэффективности работы жидкостного предпускового подогревателя // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. №3. С. 119–125.

13. Степаненко В.П. Выбор ресурсосберегающих источников и накопителей энергии в системах автономного энергоснабжения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – С. 1–8.

14. Филь М.М. Пуско зарядное устройство аккумуляторных батарей / Филь М.М., Сычева М.А., Орхименко И.В., Руденко Н.В. // Молодой исследователь Дона. – 2017. – С. 1–7.

15. Шкурат П.Б. Активная балансировка литий-титанатных аккумуляторов // StudNet. – 2021. – С. 1–12.

16. Ghosh A., Ghamouss F. Role of Electrolytes in the Stability and Safety of Lithium Titanate-Based Batteries // Frontiers in Materials. 2020. No. 7. pp.1–11.

17. Huang P., Wang Q., Li K., Ping P. The combustion behavior of large scale lithium titanate battery // Scientific reports. 2015. pp. 1–9.
18. Nemeth T., Schroer P., Kuipers M., Sauer D. U. Lithium titanate oxide battery cells for high-power automotive applications – Electro-thermal properties, aging behavior and cost considerations // Journal of Energy Storage. 2020. No. 31.
19. Wang C., Sun Y., Gao Y., Yan P. The Incremental Capacity Curves and Frequency Response Characteristic Evolution of Lithium Titanate Battery during Ultra-High-Rate Discharging Cycles // Energies. 2023. No. 16.
20. Wang L., Wang Z., Ju Q., Wang W. Characteristic Analysis of Lithium Titanate Battery // Energy Procedia. 2017. No. 105. pp. 4445-4449.