

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 Аналитические исследования функционирования систем энергоснабжения транспортных средств	8
1.1 Обзор существующих конструкций аккумуляторных батарей	8
1.1.1 Конструкции аккумуляторных батарей, их типы и характеристики	8
1.1.2 Системы повышения энергоэффективности ресурсосбережения АКБ	15
1.1.3 Элементная база системы электроснабжения транспортных средств и их параметрическая характеристика	19
1.2 Динамика изменения технического состояния аккумуляторных батарей	24
Выводы	30
2 Математическое моделирование систем электроснабжения транспортных средств	31
2.1 Алгоритм параметрической оценки работоспособности аккумуляторных батарей	31
2.2 Методика расчета зависимости оценки плотности электролита от зарядной емкости аккумуляторной батареи	37
Выводы	41
3 Компьютерное моделирование систем электроснабжения транспортных средств	42

3.1 Имитационное моделирование режимов работы аккумуляторной батареи.....	42
3.2 Моделирование факторов потери работоспособности аккумуляторной батареи	54
Выводы	56
4 Экспериментальные исследования систем электроснабжения транспортных средств.....	57
4.1 Конструирование системы контроля и диагностирования аккумуляторной батареи	57
4.2 Взаимодействие аппаратной и программной элементных баз конструкции.....	62
4.3 Результаты экспериментов.....	66
Выводы	77
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	78
Список использованных источников	80
Приложения	86

ВВЕДЕНИЕ

Работа выполнена в рамках проблемного поля направления 23.03.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов и соответствует аннотированному перечню магистерской программы «Пути повышения надежности и долговечности транспортных и технологических машин, оценка и обеспечение конкурентоспособности машин».

Актуальность темы. Важнейшим аспектом в эксплуатации транспортных и технологических машин является контроль параметров аккумуляторной батареи (АКБ), а также диагностирование и прогнозирование ее состояния. Эксплуатация АКБ, питающих современные электро-энергетические комплексы, предполагает широкое использование систем автоматизации технологического процесса их эксплуатации. В свою очередь обеспечение работоспособности энергетических систем транспортных средств требует внедрения для АКБ системы контроля и диагностики (СКД АКБ) включаемых в элементную базу современных электро-энергетических комплексов.

Первые работы по автоматизации контроля параметров АКБ выполнялись специалистами ФГУП «НПО «Аврора» [11]. Мониторинг состояния АКБ осуществлялся частично по четырем аккумуляторам из группы АКБ и не позволял объективно оценить состояние всей аккумуляторной батареи. При этом автоматизированным был только контроль напряжения аккумуляторов и температуры электролита, а остальные параметры, такие как плотность электролита, его уровень и т.д., необходимо было контролировать вручную. В ходе выполнения этих работ функция контроля параметров возлагалась на комплексную систему управления техническими средствами, что существенно ограничивало процесс автоматизированного мониторинга АКБ, как по быстрдействию, так и по объемам обрабатываемой статистической информации о состоянии АКБ. Создать насыщенную по функциональности

систему, удовлетворяющую широкому ряду технологических требований, представлялось весьма проблематичным, так как для этого требовались высокоинтегрированная элементная база и новые программно-инструментальные средства проектирования. [30,38]

На современном этапе постановка задачи автоматизации контроля параметров и диагностики стала возможна с развитием методов интеграции, и в связи с этим признано целесообразным возложить задачи оценки и диагностики состояния АКБ непосредственно на создаваемую систему контроля и диагностики АКБ [45].

Таким образом, снижение трудоемкости и влияния человеческого фактора на эксплуатационные параметры являющихся неотъемлемым элементом систем современных автомобильных электро-энергетических комплексов, представляется важной задачей, которая решается созданием автоматизированной СКД АКБ. Поэтому тема диссертационной работы «Исследование систем контроля и диагностирования аккумуляторных батарей в составе современных автомобильных электро-энергетических комплексов» является актуальной.

Цель работы – продление ресурса аккумуляторной батареи автотранспортных средств путем разработки автоматизированной системы контроля и диагностики их состояния.

Объект исследования – свинцово-кислотная аккумуляторная батарея автотранспортных средств.

Предмет исследования – работоспособность аккумуляторной батареи как элемента системы современных автомобильных электро-энергетических комплексов.

Методы исследования. Используются методы системного анализа, математического моделирования, математической статистики, теории старения машин, схемотехники, теории программирования.

Задачи исследования:

1. Аналитические исследования функционирования систем энергоснабжения транспортных средств.

2. Математическое моделирование систем электроснабжения транспортных средств.

3. Компьютерное моделирование систем электроснабжения транспортных средств.

4. Экспериментальные исследования систем электроснабжения транспортных средств.

Структура и объём диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и предложений, списка использованных источников, приложений. Работа содержит 85 страниц, 40 рисунков, 8 таблиц. Приложения представлены на 14 страницах.

1 Аналитические исследования функционирования систем энергоснабжения транспортных средств

1.1 Обзор существующих конструкций аккумуляторных батарей

1.1.1 Конструкции аккумуляторных батарей, их типы и характеристики

Для питания электрооборудования автотранспортных средств при малой частоте вращения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания или при неработающем ДВС используется химический источник тока – аккумуляторная батарея.

Аккумуляторы выполняются как в виде одного элемента, так и нескольких, последовательно включенных и оформленных в одном корпусе элементов - батареи. Некоторые модели аккумуляторов включают в себя электронные элементы управления, обеспечивающие контроль режима заряда и защиту аккумулятора от неправильной эксплуатации [20,21].

Аккумуляторная батарея обладает свойством после разряда восстанавливать свою способность отдавать ток во внешнюю цепь, если через нее пропустить ток в обратном направлении, то есть произвести ее заряд [5].

Различные типы аккумуляторов имеют не только различную стоимость, но и отличаются по основным параметрам: количеству циклов перезарядки, максимальному сроку хранения, отдаваемой емкости, размерам, температурному диапазону работы, возможностям ускоренной зарядки и т.д. [42].

Как правило, каждый изготовитель использует оригинальную технологию производства, и, соответственно, свои собственные разработки по конструкции тех или иных моделей. Тем не менее, можно выделить несколько общих подходов к конструкции разных типов аккумуляторов.

Свинцово-кислотный аккумулятор - наиболее распространенный на сегодняшний день тип аккумуляторов, изобретен в 1859 году французским физиком Гастоном Планте [10].

Принцип работы свинцово-кислотных аккумуляторов основан на электрохимических реакциях свинца и диоксида свинца в сернокислотной среде.

Так же существуют несколько разновидностей классических свинцово-кислотных аккумуляторов с жидким электролитом, например:

- *Antomin 2,3-4*: аккумуляторные батареи с 2,3-4% содержанием сурьмы в материале пластин;

- *Hybrid*: аккумуляторные батареи комбинированной (гибридной) конструкции, у которых отрицательные пластины выполнены из кальциевого сплава свинца, положительные - из малосурьмянистого;

- *Ca/Ca*: необслуживаемые аккумуляторные батареи, у которых пластины изготовлены из сплавов свинца, легированного кальцием [48];

- *PbCa/Silver*: необслуживаемые аккумуляторные батареи, у которых пластины изготовлены из сложных свинцово-кальциевых сплавов с добавлением серебра (технология Varta)[25].

AGM (Absorbent Glass Mat) - это технология изготовления свинцово-кислотных аккумуляторов. Отличие батарей AGM (рис. 1.1.1) от классических в том, что в них содержится абсорбированный электролит, а не жидкий, что даёт ряд изменений в свойствах аккумулятора [1].

Преимуществом является:

- устойчивость к вибрации;
- возможность установки в любом положении и отсутствии в необходимости обслуживать;
- конструкция не требующая обслуживания;
- конструкция герметична и имеет клапанную регулировку, предотвращает утечку кислоты и коррозию клемм;
- уверенная работа при низких температурах (-30 °C);
- возможность работы в нестандартном положении (на боку).

Недостатками:

- высокий вес;
- оксид свинца, содержащийся в них токсичен, что делает их опасными для окружающей среды;
- высокая цена.



Рис. 1.1.1 - Свинцово-кислотный аккумулятор технологии AGM

На рис. 1.1.2 представлена взаимосвязь напряжения и температуры АКБ AGM.

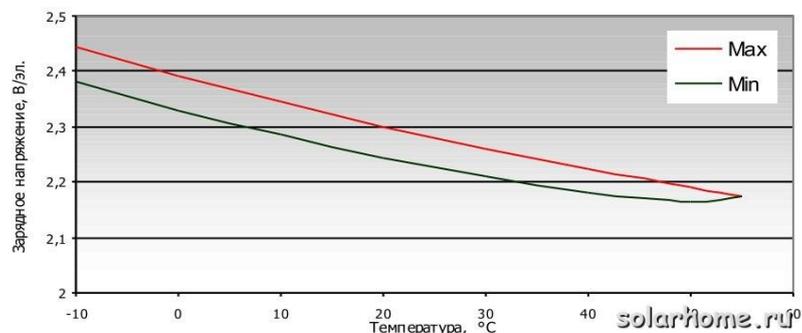


Рис. 1.1.2 - Взаимосвязь напряжения и температуры АКБ AGM

На данном графике представлена зависимость зарядного напряжения от температуры окружающей среды, которая показывает, что чем ниже температура, тем большее напряжение требуется подать для полной зарядки аккумуляторной батареи.

Так же существует конструкция аккумуляторных батарей типа ОПТИМА (рис. 1.1.3), обладающая всеми преимуществами батарей AGM, но в тоже время отличающаяся от них конструктивно [16]. В АКБ ОПТИМА пластины не прямоугольные и плоские (как в батареях «классической» конструкции), а представляют собой длинные ленты, плотно скрученные в рулон (инновационная система SPIRALCEL[®]-TECHNOLOGY).

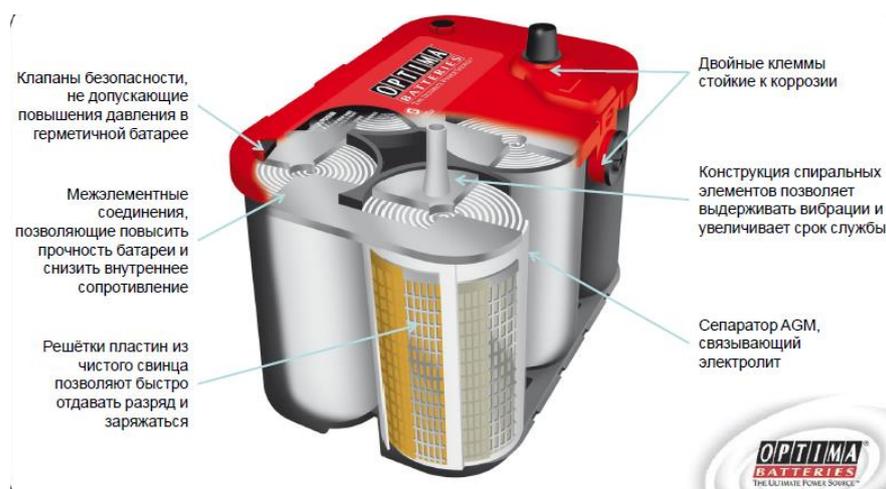


Рис. 1.1.3 - AGM аккумуляторная батарея конструкции ОПТИМА

Вследствие использования такой конструкции батареи ОПТИМА могут не только безопасно работать в любом положении и выдерживать вибрации, которые не может выдержать ни одна батарея «классической» конструкции, но и способны работать с поврежденным корпусом, например, с пробоинами. Конструкция SPIRALCEL[®]-TECHNOLOGY дает возможность использовать такие батареи не только в качестве стартерных и не только в автомобилях, но и для питания электроприборов, а также в качестве бортовых источников тока на катерах и яхтах. Кроме перечисленных преимуществ батареи ОПТИМА имеют лучшие пусковые характеристики (ток холодной прокрутки) и больший срок службы. Такая технология позволяет значительно снизить толщину свинцовых лент и на 50-100 % увеличить их активную площадь в сравнении с обычными пластинами свинцово-кислотных аккумуляторов. Специальная конструкция минимизирует сопротивление и обеспечивает равномерное дав-

ление по всей поверхности элементов, таким образом, гарантируя быструю отдачу энергии и увеличение срока службы в 1.5-2 раза по сравнению с обычными аккумуляторами. Большая площадь поверхности активных элементов также сокращает время зарядки аккумулятора (рис 1.1.4).



Рисунок 1.1.4 - Зарядная характеристика AGM АКБ

АКБ марки ОРТИМА обладают следующими характеристиками:

- надежность и максимальная мощность во время старта обеспечиваются независимо от числа глубоких разрядов. Аккумуляторы ОРТИМА проверялись при запуске дизельных двигателей различных транспортных средств при температурах от -40 до +40 °С;
- идеальны для сезонного использования, сохраняют пусковые качества даже после года хранения без подзарядки;
- абсолютная безопасность батарей ОРТИМА состоит в том, что раствор электролита в абсорбированном виде находится в закрытой герметичной системе, в корпусе из долговечного и устойчивого к ударным и температурным воздействиям пластика. Утечка электролита невозможна даже при разбитом корпусе;

- устанавливать аккумулятор ОПТИМА можно в любом положении, даже вверх дном, что делает его идеально пригодным для установки в ограниченном пространстве;

- важное преимущество ОПТИМА перед обычным аккумулятором состоит в том, что ОПТИМА не требует обслуживания, поскольку представляет собой полностью закрытую систему;

- в отличие от гелевых аккумуляторов, для подзарядки ОПТИМА подходит большинство стандартных зарядных устройств.

Гелевые аккумуляторы (Gelled Electrolite) - это модификация стандартных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей, в которых вместо жидкого электролита используется так называемый «загущенный»; в электролит добавляется загуститель (соединения кремния), в результате чего он переходит из жидкого состояния в гелеобразное. «Гелеобразность» электролита предотвращает возможность его выливания и исключает газовыделение в процессе эксплуатации батареи. Основным же недостатком, присущим гелевым батареям - повышенное внутреннее сопротивление (следствие того, что электролит менее текучий). Это препятствует получению высоких токов, и именно поэтому гелевые батареи мало применяются в качестве стартерных автомобильных батарей, и используются, в основном, в качестве резервных источников питания. На рис. 1.1.5 представлена зарядная характеристика гелевого АКБ.

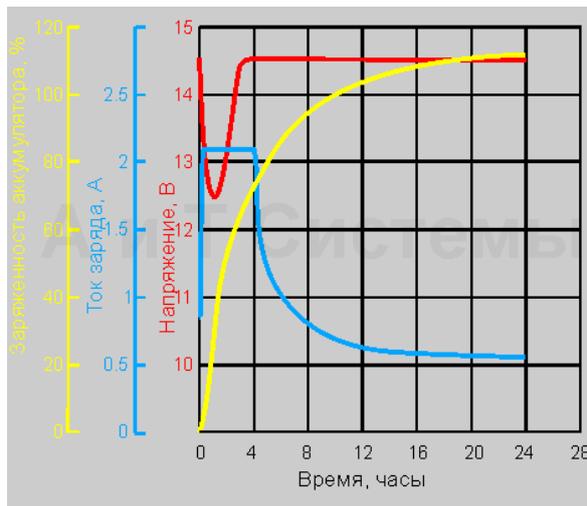


Рис. 1.1.5 - Зарядная характеристика гелевой АКБ

Литиево-ионные (Li-Ion) аккумуляторные батареи

Тип электрического аккумулятора, широко распространённый в современной бытовой электронной технике, а также в электромобилях. Первый литиево-ионный аккумулятор разработала корпорация Sony в 1991 году [10].

Преимуществами литиево-ионных аккумуляторных батарей (рис. 1.1.6) является:

- высокая энергетическая плотность;
- низкий саморазряд;
- простота обслуживания.

Недостатками:

- аккумуляторы Li-ion подвержены взрывному разрушению при перезаряде и/или перегреве;
- имеют более короткий жизненный цикл в сравнении с другими типами аккумуляторов.



Рис. 1.1.6 - Литиево-ионная (Li-Ion) АКБ

Технико-эксплуатационные характеристики литиево-ионной аккумуляторной батареи включают следующие параметры:

- энергетическая плотность: 110 ... 200 Вт*ч/кг
- внутреннее сопротивление: 150 ... 250 мОм (для батареи 7,2 В)
- число циклов заряд/разряд до потери 20 % ёмкости: 500—1000
- время быстрого заряда: 2-4 часа
- саморазряд при комнатной температуре: 7 % в год
- напряжение максимальное в элементе: 4,18..4,20 В (полностью заряжен)
- напряжение минимальное: 2,5..2,75 В (полностью разряжен)
- диапазон рабочих температур: -20 ... +60 °С
- обслуживание: не регламентируется.

1.1.2 Системы повышения энергоэффективности и ресурсосбережения АКБ

Свинцовая аккумуляторная батарея разработана более 100 лет назад и хорошо изучена, но в настоящее время так же продолжают работы по ее усовершенствованию.

С конца 90-х годов XIX века ведутся работы по изготовлению стартерных аккумуляторных батарей, требующих незначительного ухода (малообслуживаемые батареи) или вовсе не требующих ухода (необслуживаемые ба-

тарей). В новых аккумуляторах с целью снижения газовой выделения используют решетки из сплавов с малым содержанием сурьмы (не более 3 %) или из свинцово-кальциевых сплавов с разными добавками. Такие решетки не только снижают коррозию свинца; при их использовании напряжение начала газовой выделения остается довольно высоким (выше 2,5 В), так что тщательной регулировкой зарядного напряжения можно избежать газовой выделения в конце заряда. Выпускаемые в настоящее время рядом фирм стартерные батареи не требуют доливки дистиллированной воды при эксплуатации в течение 1-2 лет (пробег автомашины до 50 тыс. км). Эти аккумуляторы не полностью герметичны - из-за остаточного газовой выделения в них используются клапанные устройства. Некоторое снижение газовой выделения в окружающее пространство достигается при использовании специальных пробок с каталитическими насадками.

В последние годы разрабатываются и другие варианты батарей, эксплуатация которых упрощена. Интерес представляет система централизованной доливки дистиллированной воды во все аккумуляторы тяговой батареи. Заливочные отверстия аккумуляторов соединены системой трубопроводов, через которые поступает дистиллированная вода для доливки; в каждом аккумуляторе имеется устройство, прекращающее поступление дистиллированной воды после достижения нужного уровня. Кроме того, система трубопроводов может быть использована для централизованного отвода газов при работе или при заряде. Имеются попытки создания полностью герметичных свинцовых аккумуляторов, в которых используют рекомбинацию газов по кислородному циклу. Ограничителем емкости при заряде таких аккумуляторов является положительный электрод, а выделяющийся кислород взаимодействует с металлическим свинцом на отрицательном электроде. Для ускорения подвода кислорода к отрицательному электроду необходимо ограничение объема свободного электролита, что вызывает снижение емкости. Иногда для ускорения реакции используют вспомогательный кислородный электрод (например, с платиновым катализатором), соединенный со свинцовым

электродом. По мере восстановления кислорода на вспомогательном электроде свинец окисляется до сульфата свинца. Важно, чтобы катализатор из вспомогательного электрода не попал в электролит или на отрицательный электрод, так как при этом сразу резко увеличивается скорость коррозии свинца.

В герметичных и полугерметичных аккумуляторах все чаще применяется загущенный электролит, обеспечивающий возможность работы в любом положении. В качестве загустителя используются силикагель, алюмогель, сульфат кальция и другие вещества. Смоченные серной кислотой, эти вещества образуют тиксотропный гель. Как правило, ресурс аккумуляторов с загущенным электролитом пока не превышает 100 циклов.

Другая проблема усовершенствования свинцовых аккумуляторов связана с увеличением ресурса и срока службы. В основном эти вопросы сводятся к уменьшению осыпания активной массы положительного электрода и к уменьшению коррозии его решетки. Для этой цели исследуется влияние различных добавок в электрод и в электролит. Неплохие результаты получены для некоторых вариантов аккумуляторов при введении в электролит небольших количеств фосфорной кислоты (5-7 %). Такая добавка снижает сульфатацию активной массы, уменьшает осыпание и снижает коррозию решетки. Эффект особенно заметен при использовании свинцово-кальциевых решеток, для которых осыпание повышено. При наличии фосфорной кислоты наблюдается незначительное снижение емкости и напряжения. Механизм действия фосфорной кислоты пока не выяснен окончательно.

Основным вопросом дальнейшего развития свинцовых аккумуляторов является увеличение удельной энергии, что особенно важно для тяговых аккумуляторов, предназначенных для электромобилей. Рост удельной энергии может быть достигнут как за счет конструктивных улучшений, так и путем увеличения коэффициента использования активных масс электродов.

Обычная конструкция свинцовых аккумуляторов обеспечивает их высокую надежность, но в то же время приводит к утяжелению.

Теоретически необходимая для реакции доля массы реагентов и электролита составляет 15-24 %. Например, для работы в интервале концентраций от 36 до 16 % требуется избыток раствора 6,4 кг/(кВт•ч), что обеспечивает избыток электролита (в частности, растворителя – дистиллированной воды) необходим для работы в заданном интервале концентрации. Избыток активных масс необходим из-за низкого коэффициента их использования. Увеличение коэффициента использования может быть достигнуто за счет оптимизации структуры пористых электродов и за счет использования различных добавок. Большое значение для повышения удельных показателей, а также ресурса АКБ имеет разработка новых, тонких (0,2-0,3 мм) сепараторных материалов с большой общей пористостью и малым размером пор.

Основной вклад в массу конструктивных элементов АКБ вносят токоотводы электродов, изготовленные из свинцовых сплавов.

В последнее время изучается возможность использования других, более легких материалов. Для решетки отрицательных пластин предполагается использовать алюминий, медь, титан и другие металлы, покрытые тонким слоем свинца, для положительных пластин - освинцованный титан, композицию свинца с пластмассой и т. д. С целью снижения массы баков эбонит заменяют прочными, термостойкими пластмассами, например полипропиленом. Эти материалы допускают изготовление легких тонкостенных баков (методом литья под давлением). Крышка легко приклеивается к баку, так что нет необходимости в ее заливке мастикой, как это проводилось в эбонитовых баках. Значительное снижение массы достигается также за счет облегчения выводов. В новых вариантах батарей моноблочной конструкции межэлементные соединения помещаются не над крышкой, а проходят ниже крышки, непосредственно через стенку, разделяющую соседние ячейки.

Необходимо иметь в виду, что отдельные мероприятия по повышению удельной энергии (утонышение решеток, увеличение коэффициента использования активных масс и др.) существенно снижают ресурс аккумулятора. В принципе уже сегодня могли бы быть изготовлены тяговые аккумуляторы с

удельной энергией около 45 Вт•ч/кг, но их ресурс был бы очень низким. Поэтому основной целью исследовательских и технологических работ является повышение удельной энергии без снижения ресурса и срока службы. В настоящее время начинают выпускаться тяговые аккумуляторы для электромобилей с удельной энергией 30-35 Вт•ч/кг и ресурсом 700-800 циклов. Представляется, что в скором будущем будут разработаны аккумуляторы с удельной энергией 40-45 Вт•ч/кг и ресурсом более 1000 циклов [46].

1.1.3 Элементная база системы электроснабжения транспортных средств и их параметрическая характеристика

При всем многообразии транспортных средств, используемых в настоящее время, система электропитания любого из них построена по одной и той же общей структурной схеме, критериальным принципом которой является ресурс и работоспособность, т.е. упрощение понимания и определения неисправных элементов, подлежащих замене.

Функционально значимость элементов системы электроснабжения транспортных средств можно группировать по степени важности, в частности:

- поддержание в работоспособном состоянии аккумулятора транспортного средства, для обеспечения необходимого значения тока при запуске двигателя внутреннего сгорания (>200 А), т.е. его зарядка;
- питание навесного оборудования ДВС в процессе его запуска и работы (система зажигания, топливный насос, электроventильатор радиатора, электроклапана, датчики, электронные схемы управления и т.д., в зависимости от типа ДВС);
- питание осветительного и сигнального оборудования транспортного средства и сигнальной системы панели управления, электроventильатора обогрева салона, и прочих систем;

- питание дополнительного электрического оборудования (автомагнитола, автохолодильник, электроантенна, телевизор, часы, прикуриватель, усилитель и пр.).

Как видно из всего вышеприведенного списка в одной отдельно взятой машине существует большое количество различных устройств, являющихся потребителями электроэнергии.

Для питания транспортных средств как правило принято напряжение 12 В (в некоторых транспортных средствах 24 В), достаточно низкое значение которого выбрано по соображениям электробезопасности. Поэтому для автопроводки используются провода такого сечения, чтобы без потерь передавать достаточно высокие токи нагрузки до приборов-потребителей энергии.

Так как в процессе эксплуатации транспортного средства некоторые устройства отключаются, а некоторые подключаются, нагрузка на систему электроснабжения меняется. Напряжение же в бортовой сети должно поддерживаться на одном и том же уровне. Для этой цели система питания транспортного средства является саморегулирующейся системой и поддерживает напряжение в двенадцативольтовом варианте на уровне 14,2 В. Это значение выбрано не случайно. Именно такое напряжение на зажимах аккумулятора позволяет системе как не перезарядить аккумулятор, так и не дозарядить его. Если же напряжение на клеммах аккумулятора при работающем двигателе составляет более 14,5 В или менее 13,5 В, то система электропитания неисправна и ее надо чинить, иначе аккумулятор прослужит недолго.

Составными элементами системы электроснабжения транспортного средства являются:

- генератор, как элемент, преобразующий механическую энергию, передаваемую от коленчатого вала двигателя посредством ременной передачи, в электрическую энергию;

- система выпрямителей (диодов) преобразующих переменное трехфазное напряжение, вырабатываемое генератором, в постоянное напряжение 12 В, в качестве сглаживающего инерционного элемента (конденсатора) используется аккумулятор;

- регулятор напряжения подключенный двумя выводами (один из них масса) к бортовой сети (т.е. клеммы аккумулятора), двумя другими запитывающий обмотку возбуждения (ротор) генератора через щетки (изнашивающийся элемент). Его функция - поддержание в обмотке возбуждения такого тока, чтобы напряжение в бортовой сети находилось в заданных пределах;

- аккумулятор, как резервный и пусковой источник энергии.

Как правило, первые три элемента (т.е. генератор, выпрямители, регулятор напряжения) собираются у современных транспортных средств в одном навесном блоке, который и называют генератором автомобиля. Но состоит он всегда обязательно из этих трех частей, которые могут выходить из строя и соответственно подлежат ремонту.

Как и в любой другой электросистеме при установке дополнительного электрооборудования должно соблюдаться правило баланса мощностей: номинальная мощность источника питания (в данном случае генератор) должна несколько превышать суммарную потребляемую мощность для всех нагрузок. При этом самые мощные нагрузки должны включаться только при работающем двигателе, для предотвращения разряда аккумулятора и сохранения возможности запуска двигателя.

Дополнительное оборудование должно быть подключено таким образом, чтобы энергопотребление в режиме стоянки было минимальным, и затраты энергии ограничивались необходимостью функционирования охраняемых систем.

К надежности работы, а так же к качеству и стабильности работы системы электроснабжения транспортных и технологических машин предъявляются высокие требования. Так, отклонение напряжения в бортовой сети автомобиля не должно превышать $\pm 3\%$ (от расчетного значения). Например,

колебание напряжения в рамках 5% от расчетного значения приводит к изменению потока света на 20%, а срок службы ламп накаливания в транспортном средстве уменьшается почти в 2 раза. Повышение напряжения на 9 - 12% приводит к снижению срока службы АКБ в 2...2,7 раза. Отсюда можно сделать вывод, что стабильность работы системы электроснабжения транспортных средств оказывает очень большое влияние на экономичность и надежность работы автомобиля в целом.

На современных транспортных средствах устанавливаются генераторы переменного тока, а на некоторых транспортных средствах (около 20%) находящихся в эксплуатации, устанавливаются генераторы постоянного тока. Генераторы переменного тока сами ограничивают максимальную силу тока, а встроенные выпрямители препятствуют протеканию тока от аккумуляторной батареи на обмотку статора. Поэтому генераторы переменного тока работают с регуляторами напряжения.

При поиске неисправностей систему электроснабжения транспортного средства условно разделяют на несколько частей: аккумулятор, генератор, регулятор напряжения, цепь возбуждения и цепь заряда. Первым симптомом неисправностей являются показания бортовых приборов транспортного средства.

При диагностировании состояния энергетической системы транспортного средства очень полезно использовать статистическую информацию собранную водителем при эксплуатации транспортного средства. Например, если повышена сила зарядного тока более чем на 10 А в течение 4...6 ч непрерывной езды днем, то перегорают лампы, закипает АКБ и разливается электролит, появляется белый налет на металлической рамке крепления батареи, а при низком напряжении происходит быстрый разряд АКБ.

Проверка генераторов и реле-регуляторов переменного тока значительно упрощается ввиду отсутствия реле обратного тока, роль которого выполняет выпрямительный блок, и ограничителя силы тока. При диагностировании необ-

ходимо проверить регулируемое напряжение и мощность, развиваемую генератором на определенных частотах вращения.

Однако с помощью измерения напряжения и тока выявить характерные неисправности генераторов переменного тока не представляется возможным. Большие возможности дает измерение ряда параметров с помощью осциллографа. С его помощью по характеристическим осциллограммам напряжения генератора определяют обрыв или замыкание обмотки статора на массу и пробой диодов выпрямителя. Кроме того, с помощью осциллографа можно оценить регулируемое напряжение реле-регулятора.

Для диагностирования генераторов и реле регуляторов непосредственно на транспортном средстве выпускается много приборов и стендов.

Осциллографические методы измерения позволяют выявить неисправности генераторов на транспортном средстве при работающем двигателе.

Так же проверяется натяжение приводных ремней генераторов с помощью специальных устройств и приспособлений, например НИИАТ К403.

Для проверки реле защиты контактно-транзисторного реле-регулятора плавно перемещают ползунок реостата на 30 Ом и фиксируют момент замыкания контактов по показаниям вольтметра. В момент замыкания напряжение должно быть в пределах 6,5...7,5 В. В противном случае изменяют натяжение пружины якорька.

Проверку состояния транзистора в контактно-транзисторном реле-регуляторе типа производят на неработающем двигателе. Для этого снимают крышку реле-регулятора, подключают контрольную лампу одним проводом на зажим «Ш» реле-регулятора, а другим - на массу. При включении замка зажигания лампа будет гореть при исправном и пробитом транзисторе и не будет гореть при обрыве в цепи транзистора, чтобы выявить исправен транзистор или имеет место пробой, надо нажать на якорек регулятора напряжения или реле защиты (замкнуть их контакты). Если транзистор исправен, то при замыкании контактов он запирается и лампа гаснет [47].

1.2 Динамика изменения технического состояния аккумуляторных батарей

В ходе выполнения работы были проанализированы существующие методы и средства диагностики, осуществлен патентный поиск на тему: «Системы контроля и диагностики» на глубину 12 лет (1995-2007 гг.). Целью поиска информации является формирование базового пакета патентно-информационных ресурсов с целью изучения отечественного и зарубежного опыта создания систем диагностирования и контроля, подбор аналогов и прототипов для формирования заявок на выдачу патентов. Источники информации, по которым производился поиск, сведены в таблицу 1.2.1

Таблица 1.2.1 – Источники информации

№ п/п	Наименование источника	Класс	Подкласс	Годы поиска
1	Бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели» № 1-36	МПК G 05 В. Регулирующие и управляющие системы общего назначения; функциональные элементы таких систем; устройства для контроля или испытания таких систем или элементов	-19/00. Системы программного управления; -23/02. Испытания и контроль систем управления или их элементов. Электрические испытания и контроль	1994-2006
2	Бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели» № 1-36, № 1-27,	МПК Н 01 М. Способы и устройства, например, батареи, для непосредственного преобразования химической энергии в электрическую.	- 10/48. Аккумуляторы, комбинированные с устройствами для измерения, испытания или индикации, например, для индикации уровня или плотности электролита	1994-2006
3	Бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели» № 1-36, № 1-27,	МПК G 01 R. Измерения электрических и магнитных величин.	- 31/36. Устройства для испытаний электрических характеристик аккумуляторов или электрических батарей,	1994-2006

			например, мощности или заряда	
--	--	--	-------------------------------	--

Продолжение таблицы 1.2.1 – Источники информации

№ п/п	Наименование источника	Класс	Подкласс	Годы поиска
4	Реферативный журнал ВИНТИ, сводный том «Автоматика и вычислительная техника» №1-12	-	-	1994-2006
5	Журнал «Современные технологии автоматизации» № 1-6	-	-	2000-2006
6	Журнал «Мир компьютерной автоматизации» № 1-6	-	-	2000-2006

В результате поиска патентной информации по теме «Системы диагностики и контроля» более детально проработано несколько изобретений (полезных моделей), которые дальнейшем использованы как базовые при разработке системы контроля и диагностирования АКБ.

Диагностику АКБ по разрядно-зарядному циклу [39] проводят в соответствии с техническими нормами проверки исправности и на соответствие номинальной емкости. Главное отличие данного метода - автоматизация процесса в полном объеме.

Можно представить несколько способов автоматического тестирования АКБ:

- разряд на штатную активную нагрузку с отключением от выпрямителя и последующим зарядом от выпрямителя вместе с батареей;
- разряд на технологическую нагрузку с отключением выпрямителя, который обеспечивает режим «плавающего заряда»;
- смена разряда-заряда автоматизированным тестером и использовании специализированного зарядно-разрядного устройства.

Диагностика по внутренним параметрам батареи [40] проводится с помощью подключения специального переносного или стационарного тестера (рис. 1.2.1).

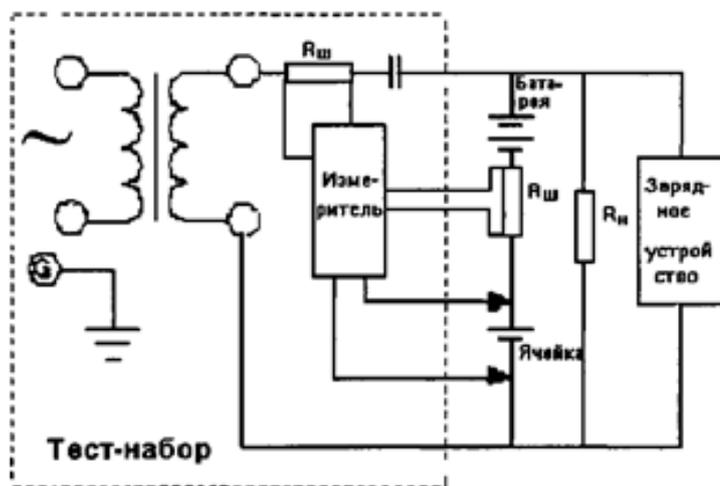


Рисунок 1.2.1 - Схема подсоединения переносного тестера

При этом измеряется:

- внутреннего сопротивления по постоянному и переменному току;
- фарадеевской емкости элемента (ячейки);
- напряжения на элементе;
- тока элемента (батареи).

По измеренным параметрам с помощью ЭВМ определяются технические характеристики батареи (элемента):

- емкость в ампер-часах (фактическая);
- процент сульфатации;
- остаточный ресурс.

Этот метод предполагает высокую точность и достоверность измерения. Недостатками является ограниченная область его применения, а так же:

- необходимость установки специальных измерительных элементов в технологические цепи;
- требуется высококвалифицированный персонал при подключении;
- достаточно высокая цена.

Диагностика аккумуляторной батареи на форсированном температурном цикле [45] проводится в условиях лаборатории с отдельными элементами. Высокая температура усиливает коррозионные процессы и выкипание воды, поэтому при повышенной температуре воздуха можно имитировать ускоренное старение элементов при прогнозировании срока их службы в нормальных условиях.

Контроль заряженности по напряжению на батарее [29]. Данный метод базируется на том, что в одинаковых АКБ для каждого значения разрядного тока и остаточной емкости соответствует определенное напряжение. При фиксированном токе нагрузки измеритель емкости состоит из линейки компараторов, настроенных на напряжения, соответствующие определенной степени разряженности аккумулятора, при различных токах вводится коррекция по конкретной величине тока.

Этот метод имеет высокую погрешность, так как:

- не использует «предысторию» аккумулятора;
- контролирует малые разности напряжений на фоне шумов нагрузки аккумулятора.

Контроль заряженности аккумуляторной батареи при помощи импульсного разряда [45] допустим в пределах требований к качеству напряжения аккумулятора. Метод основывается на увеличении внутреннего сопротивления аккумулятора в процессе разряда, суть его заключается в подключении схемы (рис. 1.2.2) параллельно нагрузке, которая состоит из последовательно включенных мощного электронного ключа и сопротивления, много меньше сопротивления нагрузки.

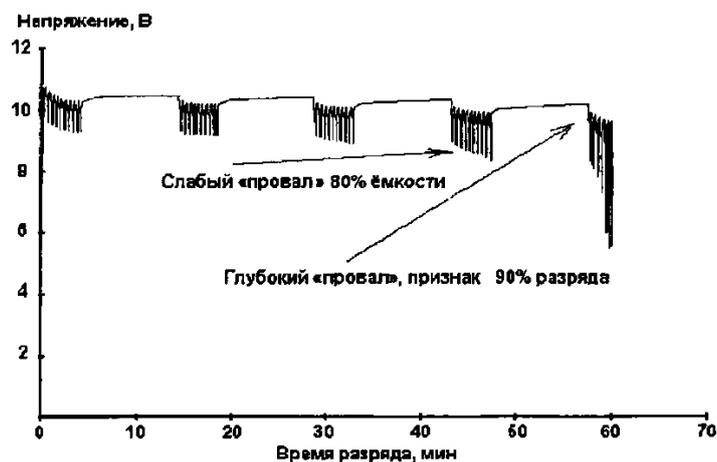


Рисунок 1.2.2 - Осциллограмма тестирующих импульсов

За определенные интервалы времени через ключ пропускают серию коротких импульсов. Энергия аккумулятора, расходуемая на эти импульсы, незначительна. Тестирование проводится автоматически программно-логическим устройством по глубине провала напряжения во время импульса.

При этом в аккумуляторной батарее один или несколько элементов в большей степени теряют емкость по сравнению с остальными, определяя тем самым результаты тестирования.

Учет полученного и отданного батареями количества электричества [28] предполагает использование так называемых счетчиков ампер-часов. Поскольку отдача батареи в ампер-часах не равна 100% и зависит от времени эксплуатации, необходимо постоянно учитывать поправку, связывающую фактическую емкость в батарее (которую она способна отдать в нагрузку), полученное и отданное ею количество ампер-часов. В результате при помощи этого метода можно измерять и прогнозировать емкость с точностью $\pm 5\%$. При изменении отдачи батареи (старение) точность может сильно ухудшиться. Отдача также зависит от разрядного тока, что требует соответствующей коррекции показаний счетчика.

Поэлементный контроль состояния аккумуляторной батареи.

Необходимость контроля вытекает из свойств элементов батареи к «разбегу» по напряжению. Только на основании поэлементного контроля [31] можно судить о «здоровье» батареи в целом, поскольку в разрядном

цикле отказ любого из элементов ведет к отказу батареи. Как было отмечено выше, стабильность напряжения на зажимах батареи не гарантирует равномерного распределения напряжения между элементами. Точное поддержание напряжения «плавающего заряда» лишь в некоторой мере стабилизирует процессы «разбега» напряжений элементов.

В наше время реализаций систем контроля и диагностики состояния аккумуляторных батарей, как особо надежных систем с поэлементным контролем занимают очень мало, хотя именно такой подход позволяет заблаговременно позаботиться о состоянии ненадежных элементов, узнать их степень износа, не дожидаясь явного отказа системы в целом.

Выводы

В первой части работы произведен обзор существующих типов аккумуляторных батарей применяемых на современных транспортных и технологических машинах, оценены их преимущества и недостатки.

Проанализированы проблемы усовершенствования аккумуляторов, изучена возможность использования альтернативных, более легких материалов в составе современных АКБ, рассмотрены мероприятия по повышению удельной энергии аккумуляторной батареи.

Рассмотрены составляющие элементы систем электроснабжения различных транспортных средств, а так же способы оценки их технического состояния.

Так же в ходе выполнения работы были проанализированы существующие методы и средства диагностики, осуществлен патентный поиск на глубину 12 лет, целью которого был поиск информации по рассматриваемой тематике и формирование базового пакета патентно-информационных ресурсов с целью изучения отечественного и зарубежного опыта создания систем диагностирования и контроля, подбор аналогов и прототипов для формирования документации по конструированию СКД АКБ.

2 Математическое моделирование систем электроснабжения транспортных средств

2.1 Алгоритм параметрической оценки работоспособности аккумуляторных батарей

Практика эксплуатации свинцовых аккумуляторов в самых разных областях техники показала, что определение концентрации и плотности с учетом экспериментальных результатов о зависимости степени заряда-концентрации (плотность электролита) по каждому элементу АКБ обеспечивает необходимую для практики точность контроля, а ИТ-технологии позволяют проводить анализ и прогнозирование параметров состояния АКБ.

Математический аппарат использует результаты статистической обработки данных, полученных в течение эксплуатации АБ совместно с СКД АКБ, на основании которых формируются аналитические зависимости параметров АКБ от внешних факторов, изменяющихся во времени. В состав математического аппарата входит матрица параметрических коэффициентов и коэффициентов пропорциональности, которая рассчитывается при статистической обработке данных [50].

Задача аналитического описания свинцово-кислотного АКБ как элемента электрической цепи сводится к определению плотности электролита ρ , УПЦ N , емкости C - при различных режимах работы и конкретных условиях эксплуатации. Режим работы АКБ характеризуется величиной и временем протекания тока.

Основными показателями условий эксплуатации являются внешняя температура, давление и механические нагрузки. В качестве допущения принято, что механические нагрузки отсутствуют, а давление не изменяется.

Напряжение на аккумуляторе [12] для разных режимов работы:

$$U = E \pm AU, \quad (2.1)$$

где «+» - заряд;

«-» - разряд;

E - ЭДС аккумулятора;

ΔU - внутреннее падение напряжения.

ЭДС свинцово-кислотной АКБ [9]:

$$E = 0,85 + \delta + \varepsilon_{пол}, \quad (2.2)$$

где δ - плотность электролита при температуре +25°C;

$\varepsilon_{пол}$ - ЭДС поляризации.

Для приведения плотности электролита к 25°C используются данные работы:

$$\rho_{25} = \rho_{30} - 0.0006(25 - 30), \quad (2.3)$$

где ρ_{30} - значение плотности электролита при 30°C.

В общем виде зависимость плотности электролита АКБ от режима работы имеет вид:

$$\rho(t) = \rho_0 \pm k \cdot C(t) \quad (2.4)$$

где «+» - заряд;

«-» - разряд;

ρ_0 - начальное значение плотности электролита;

k - коэффициент пропорциональности.

Внутреннее падение напряжения аккумулятора:

$$\Delta U = I \cdot r \quad (2.5)$$

где r - внутреннее сопротивление аккумулятора.

Внутреннее сопротивление аккумулятора согласно:

$$r = 2 \cdot A \cdot e^{-\frac{C}{C_n} 100B} \quad (2.6)$$

где A, B - коэффициенты, зависящие от типа аккумулятора;

$a = (C/C_n) \cdot 100$ - степень заряженности аккумулятора (C_n - номинальная емкость аккумулятора).

Зависимость емкости аккумуляторной батареи от времени:

$$C(t) = C_0 \pm I \cdot t \quad (2.7)$$

где «+» - заряд;

«-» - разряд;

C_0 - начальное значение емкости.

Интерпретация вышеизложенных формул позволяет получить выражение оценки напряжения на клеммах аккумулятора:

$$U(t) = 0.85 + \varepsilon_{\text{нол}} + \rho_0 \pm k \cdot (C_0 \pm I \cdot t) \pm I \cdot A \cdot e^{-\left(\frac{C_0 \pm I \cdot t}{C_n}\right)^B} \quad (2.8)$$

Методика автокоррекции канала определения плотности, позволяет уточнять аналитический вид зависимости, которой подчиняется поведение плотности электролита аккумулятора на основе анализа статических данных в режиме реального времени [45]:

$$\rho = \rho(C) \quad (2.9)$$

где ρ - плотность электролита;

C – емкость, получаемая аккумулятором.

Исходя из анализа экспериментальных данных плотность имеет линейную зависимость от емкости:

$$\rho(C) = \rho_0 \pm k \cdot C \quad (2.10)$$

Поэтому вся задача может быть сведена к нахождению коэффициента пропорциональности методом математической статистики [19]:

$$k = (\rho_k - \rho_n) / C_z \quad (2.11)$$

где ρ_k - плотность в конце заряда, г/см³;

ρ_n - плотность в начале заряда, г/см³;

C_z - емкость, полученная в процессе заряда, А·ч;

k - удельное изменение плотности электролита на единицу емкости, полученной аккумулятором г/(см³ · А·ч).

За исходный материал берется генеральная совокупность динамики изменения плотности $\Delta\rho = \rho_k - \rho_n$ аккумулятора по итогам 150 зарядов, для заданного типа АКБ [45].

Алгоритм решения поставленной задачи включает следующие шаги:

- выявляется закон распределения случайной величины $\Delta\rho$;
- определяются параметры распределения $\Delta\rho$;
- проверяется правдоподобие выдвинутой гипотезы о распределении $\Delta\rho$.

Результатом проведения выборки является графическое изображение статистического ряда в виде гистограммы, а также в виде эмпирической функции распределения $\Delta\rho$ (рис. 2.1, 2.2).

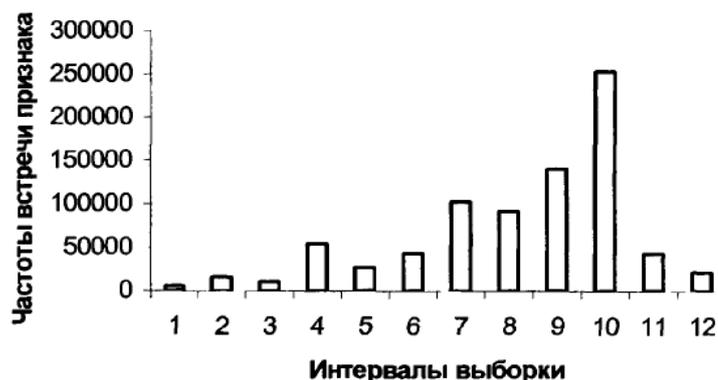


Рисунок 2.1 – Статистический ряд динамики плотности



Рисунок 2.2 – Функция распределения

Значения динамики изменения плотности $\Delta\rho$ на соответствующих интервалах выборки представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Динамика изменения плотности $\Delta\rho$

Интервал выборки	$\Delta\rho$, г/(см ³ · А · ч)	Интервал выборки	$\Delta\rho$, г/(см ³ · А · ч)
1	$2,17861 \cdot 10^{-6}$	7	$9,57197 \cdot 10^{-6}$
2	$3,41084 \cdot 10^{-6}$	8	$1,08042 \cdot 10^{-5}$
3	$4,64306 \cdot 10^{-6}$	9	$1,20364 \cdot 10^{-5}$
4	$5,87529 \cdot 10^{-6}$	10	$1,32686 \cdot 10^{-5}$
5	$7,10751 \cdot 10^{-6}$	11	$1,45009 \cdot 10^{-5}$
6	$8,33974 \cdot 10^{-6}$	12	$1,57331 \cdot 10^{-5}$

Представленное распределение является нормальным, а функция распределения характерна кривой Гаусса.

Статистические ряды, имеющие схожие графические изображения, могут различаться:

- эмпирической средней \bar{X} - значение признака, вокруг которого группируются наблюдения;

- средним квадратичным отклонением S - мерой рассеивания наблюдений вокруг эмпирической средней;

- показателем асимметрии, характеризующим скошенность гистограммы;

- показателем эксцесса, характеризующим островершинность гистограммы.

Для статистического ряда (рис. 2.1) найдены следующие показатели (табл. 2.2).

Таблица 2.2 - Параметры статистического ряда

Эмпирическая средняя $\Delta\rho^0$, г/см ³	$1,10917 \cdot 10^{-6}$
Среднеквадратическое отклонение признака $\Delta\rho^0$, г/см ³	$2,86385 \cdot 10^{-6}$
Асимметрия	-0,950719337
Эксцесс	-3

2.2 Методика расчета зависимости оценки плотности электролита от зарядной емкости аккумуляторной батареи

Генеральная средняя задает направление вблизи, которого двигалась и будет двигаться плотность во время проведения будущих зарядов. Среднеквадратическое отклонение - дает характерное рассеивание плотности вокруг эмпирической средней. Зависимость плотности электролита от получаемой емкости при заряде аккумулятора может быть представлена выражением [45]:

$$\rho(C) = 1,11 \cdot 10^{-5} \cdot C + \rho_n, \text{ г/см}^3 \quad (2.13)$$

По результатам статистических данных строится график функции, учитывающий среднеквадратичное отклонение (рис. 2.3) на котором отображено:

- ряд 1 - генеральная средняя плотности аккумулятора;
- ряд 2 - нижняя граница плотности;
- ряд 3 - верхняя граница плотности.

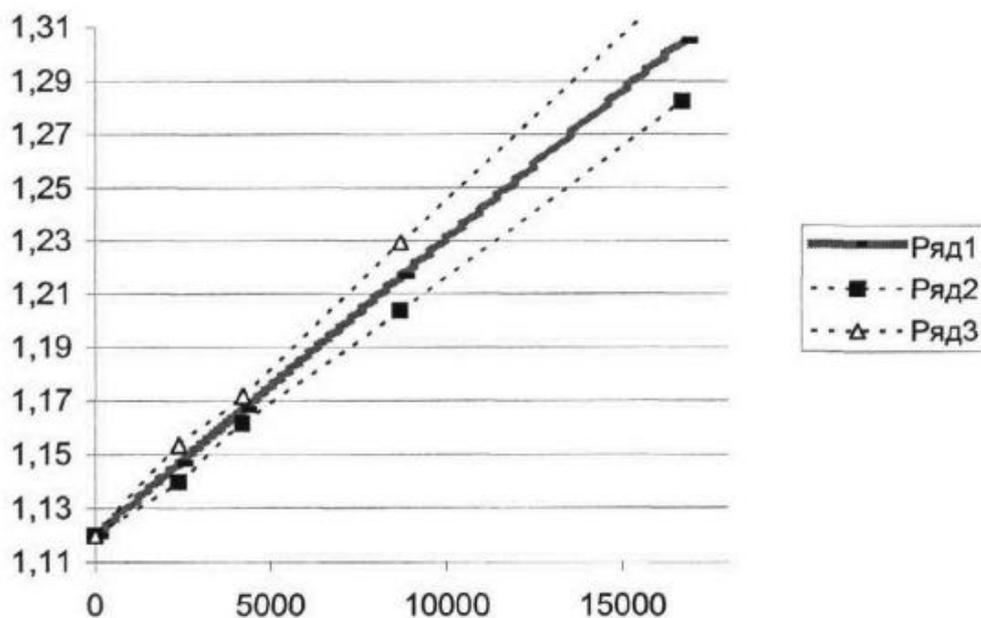


Рисунок 2.3 – График функции $\rho(C)$

Из графика (рис. 2.3) следует, что во время заряда плотность аккумулятора может находиться только между верхней и нижней границей среднего отклонения плотности, вблизи направляющей генеральной средней.

Полученные данные могут быть применены:

- при построении анализатора состояний АКБ, выполняющего функцию автокоррекции канала определения плотности электролита во время заряда с помощью интеллектуального алгоритма;
- при имитационном моделировании АКБ.

При использовании алгоритмов автокоррекции плотности во время заряда в СКД АКБ, важное значение имеет достоверность данных о емкости, получаемых от блока обработки информации.

В качестве функции плотности в СКД АКБ, в виду необходимого условия для корректирующего алгоритма:

$$\rho_0 = \rho_n, \quad (2.14)$$

$$\rho_l = k \cdot (C_l - C_{l-1}) + \rho_{l-1}, \quad (2.15)$$

где ρ_n , - плотность электролита перед зарядом, г/см³;

ρ_l , - плотность на текущем шаге итерации, г/см³;

ρ_{l-1} - плотность на предыдущем шаге итерации, г/см³;

$C_l - C_{l-1}$ - прирост емкости при заряде, А·ч;

k - коэффициент пропорциональности, г/(см³ · А·ч).

Результаты экспериментального замера плотности АКБ за 12 часовой период заряда представлены на графике (рис. 2.4), из которого можно видеть, что характер кривой нелинеен.

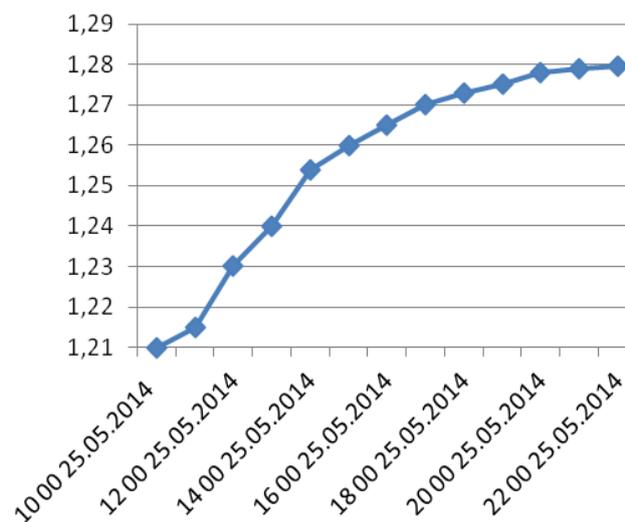


Рисунок 2.4 – График плотности при заряде (ареометр)

Таким образом, закономерности изменения плотности при заряде можно представить математическим выражением [17]:

$$\rho(C) = k(C) \cdot C + \rho_n, \quad (2.16)$$

$$k(C) = -S \cdot \sin\left(\frac{C \cdot 2 \cdot \pi}{C_{nom}}\right) + k_0 \quad (2.17)$$

где k_0 - номинальное значение коэффициента плотности в линейном законе, г/см³;

S - среднеквадратичное отклонение коэффициента k_0 , г/см³;

C - зарядная емкость, А·ч;

C_{nom} - номинальная емкость батареи, А·ч,

Тогда, с учетом $k(C)$, уравнение зависимости плотности электролита от зарядной емкости аккумулятора примет вид [45]:

$$\rho(C) = \left(-S \cdot \sin\left(\frac{C \cdot 6,28}{C_{nom}}\right) + k_0 \right) \cdot C + \rho_n \quad (2.18)$$

Таким образом, можно косвенно определять характер поведения плотности электролита от зарядной емкости (рис. 2.5), что позволяет решить поставленную задачу во втором приближении.

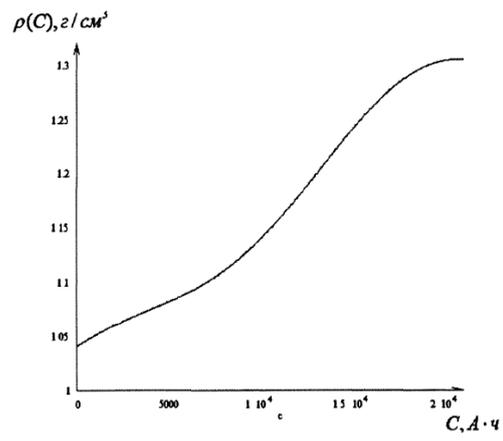


Рисунок 2.5 – Расчетная зависимость плотности электролита от зарядной емкости

Выводы

Дано математическое описание взаимосвязи основных параметров АКБ для различных эксплуатационных режимов работы.

Из анализа полученных экспериментальных данных следует, что для определения остаточного ресурса АКБ, необходимо учитывать не только влияние внешних воздействующих факторов на выборочные элементы АКБ, но и влияние предшествующих режимов работы.

Используя базовые расчетные теории по оценки параметров АКБ и по результатам анализа математического аппарата разработан алгоритм параметрической оценки работоспособности аккумуляторной батареи, получены статистические ряды динамики плотности и определена функция распределения, которая характерна кривой Гаусса.

По разработанному алгоритму представлена методика расчета зависимости оценки плотности электролита от зарядной емкости АКБ, получено математическое выражение. Построен график функций по результатам статистических данных, учитывающий среднеквадратичное отклонение и отображающий генеральную среднюю плотности АКБ, а так же ее кипение и верхние границы.

3 Компьютерное моделирование систем электроснабжения транспортных средств

Моделирование режимов работы АКБ имеет также важное значение при построении тренажеров [23]. При имитационном моделировании необходимо ввести три режима работы АКБ [4,44]:

- режим «Заряд»;
- режим «Разряд»;
- режим «Хранение».

При этом необходимо учитывать:

- особенности режима, в котором эксплуатируется АКБ;
- влияние нештатных ситуаций.

3.1 Имитационное моделирование режимов работы аккумуляторной батареи

При имитации режимов работы АКБ создается начальное распределение напряжений для базового состояния АКБ, перед началом режима. Для этого, используя исходные данные (среднее напряжение), определяется напряжение каждого элемента АКБ:

$$U_i = U_{cp} + AC \quad (3.1)$$

где AC - отклонение от среднего значения, определяется из статистических данных;

U_i - значение напряжения на i -м аккумуляторе;

U_{cp} - среднее значение напряжения на группу.

Задаются параметры режима (ток, температура, продолжительность и т.д.).

При расчете напряжений и плотности электролита на элементах аккумуляторной батареи необходимо учитывать:

- зависимости уровня электролита от температуры;
- зависимость времени разряда от исходных данных.

Заряд аккумулятора нестабилизированным током [15]

На рисунке 3.1.1 показана простейшая схема зарядки аккумуляторной батареи.

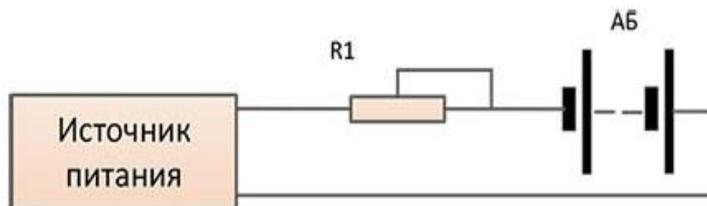


Рисунок 3.1.1 - Схема зарядки АКБ нестабилизированным током

На данном рисунке источник питания нестабилизированный. Это трансформатор и выпрямительный диодный мост, реостатом R1 устанавливается ток заряда.

Преимуществом этого устройства является простота и низкая стоимость.

Недостатками - зависимость тока заряда от напряжения в сети и степени заряженности аккумулятора, необходимость постоянного контроля процесса заряда и регулировки тока заряда, возможность перезаряда или недозаряда аккумулятора с вытекающими отсюда последствиями, невысокий КПД из-за рассеивания избыточной мощности на реостате.

Заряд аккумуляторной батареи стабилизированным током

На рисунке 3.1.2 изображена структурная схема зарядного устройства, которая работает по следующему алгоритму. Устройство управления измеряет напряжение на клеммах аккумулятора и, в случае если оно оказывается ниже нижнего порогового значения, включается ключ и происходит заряд установленным током. При достижении верхнего порога устройство управления отключает ключ и заряд прекращается. Если происходит понижение напряжения весь процесс повторяется.



Рисунок 3.1.2 - схема зарядки АКБ стабилизированным током

Достоинствами данного метода являются отсутствие зависимости величины тока заряда от колебаний напряжения сети и степени заряженности аккумулятора, более высокий КПД, а так же автоматизация процесса заряда.

Недостатками является более сложное и, соответственно, дорогостоящее устройство, не всегда возможно зарядить аккумулятор до 100% емкости, и не исключена возможность перезаряда.

Если заряжать большим током, то напряжение на клеммах аккумулятора растет достаточно быстро и до отключения аккумулятора не успевает набрать необходимую емкость; при малом же токе напряжение на клеммах растет медленно, аккумулятор при этом может набрать 100% емкости. Но этого тока может не хватить для достижения верхнего порога отключения, аккумулятор начинает кипеть и, как следствие, возможен перезаряд.

Заряд аккумулятора стабилизированным напряжением применяется на автомобилях, когда необходимо быстро восстановить заряд аккумулятора.



Рисунок 3.1.3 - Схема зарядки АКБ стабилизированным напряжением

Тут стабилизатором напряжения является генератор постоянного тока, напряжение которого поддерживается автоматически с помощью реле-регулятора. Напряжение бортовой сети при этом должно быть 14,4 В на 12-вольтовую батарею. В начале заряда ток имеет наибольшее значение, т.к. име-

ется значительная разность между напряжением источника и напряжением аккумулятора, при этом, чем больше мощность зарядного источника тока и чем сильнее разряжен аккумулятор, тем больший устанавливается зарядный ток. По мере заряда напряжение батареи возрастает и, как следствие, величина зарядного тока падает до минимального значения.

Достоинствами данного метода являются короткое время заряда, автоматически уменьшается ток заряда по мере роста степени заряженности батареи.

Недостатками являются большой начальный зарядный ток, требуется точная установка напряжения источника зарядного тока для избегания недозаряда или перезаряда.

В двухступенчатом зарядном устройстве [15] заряд АКБ происходит в два этапа. На первом этапе происходит заряд стабилизированным током (I), на втором этапе идет заряд стабилизированным напряжением (U). На рис. 3.1.4 изображена структурная схема такого зарядного устройства.

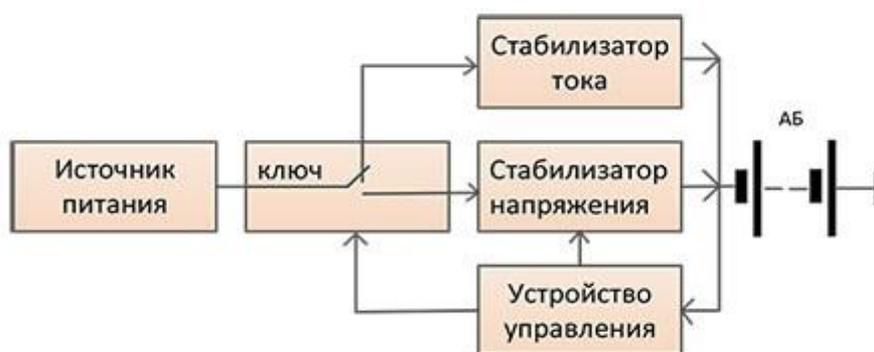


Рисунок 3.1.4 - Зарядка АКБ на двухступенчатом зарядном устройстве

Порог стабилизации по напряжению составляет 13,8 В на АКБ. Несмотря на сложность алгоритма заряда, это вполне оправдано. На первом этапе заряда (рис. 3.1.5) относительно быстро набирается основная емкость аккумулятора, не доводя электролит до кипения. Если заряжать АКБ и применять только режим стабилизации по току, то для полного заряда нужно повышать напряжение на АКБ более 2,3 В на банку и превышать точку кипения.

ния электролита, при этом повышается интенсивность электрохимических процессов в АКБ и как следствие снижается срок ее службы.

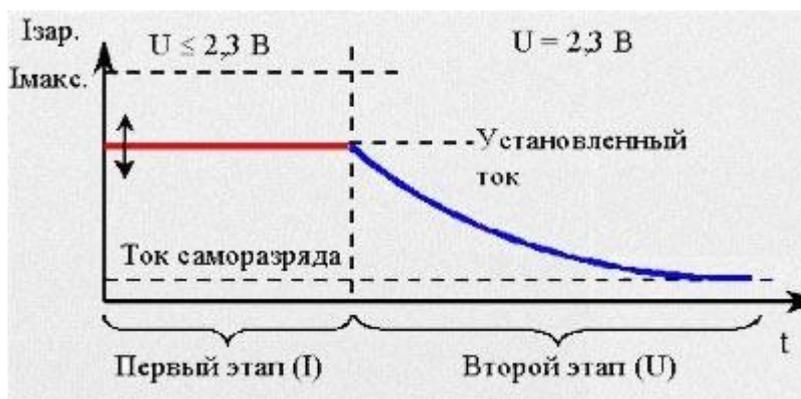


Рисунок 3.1.5 – Этапы зарядки АКБ на двухступенчатом ЗУ

Для уменьшения перечисленных недостатков используется второй этап - заряд стабилизированным напряжением, при котором зарядное устройство переходит в этот режим после достижения напряжения 2,3 В на банку, причем после происходит «мягкий» переход из одного режима в другой, без бросков тока, характерных для режима стабилизации только по напряжению. Ток заряда начинает постепенно падать и через некоторое время уменьшается до величины, равной току саморазряда аккумулятора. Такой алгоритм заряда сводит к минимуму процесс сульфатации, исключая перезаряд, и позволяет зарядить аккумулятор до полной (100 %) емкости. При этом можно не отключать длительное время аккумулятор от зарядного устройства. Недостатком является более продолжительное время заряда и более высокая цена зарядного устройства.

Заряд асимметричным током

Многие исследователи изучают механизм заряда кислотных АКБ асимметричным током, суть которого заключается в чередовании разной величины импульсов заряда и разряда. Предполагается, что такой метод заряда повышает срок службы АКБ, устраняет сульфатацию. На сегодняшний день нет единого мнения по этому поводу. Нет четкого обоснования величины, формы, длительности и периода этих импульсов. В эффективности этого

способа заряда также существуют сомнения. Косвенным подтверждением этого может служить то, что зарядные устройства, серийно выпускаемые промышленностью, в том числе военной, такого режима не имеют. Можно предположить, что положительный эффект все же существует. Но по критерию эффективность/сложность (стоимость) преимущество таких зарядных устройств далеко не очевидно.

Ускоренный заряд

Ускоренным зарядом называется режим заряда, при котором ток заряда превышает величину 10 % от номинальной емкости кислотной АКБ, время заряда при этом сокращается. К недостаткам ускоренного заряда относится повышенный износ АКБ. [14]

Контрольно-тренировочный цикл заряда-разряда проводится для предотвращения сульфатации и определения емкости аккумулятора. Контрольно-тренировочные циклы проводятся не реже одного раза в год и выполняются следующим образом: заряжают АКБ нормальным током (любым из описанных способов) до полного заряда; выдерживают АКБ 3 часа после прекращения заряда; корректируют плотность электролита; включают зарядку на 20-30 минут для перемешивания электролита; проводят контрольную разрядку постоянным нормальным током 10-часового режима и контролируют время полного разряда до напряжения 1,7 В на банку (10,2 В на АКБ); емкость батареи определяют как произведение величины разрядного тока и времени разряда. После контрольного разряда батарею сразу же ставят на зарядку и полностью заряжают. Если оказалось, что емкость АКБ меньше 50% номинальной, она считается неисправной.

Неавтоматизированный контрольный разряд требует постоянного присутствия обслуживающего персонала для фиксации и регулировки тока разряда. Устройство автоматизированного тестирования стабилизирует ток разряда и подсчет емкости выполняет автоматически.

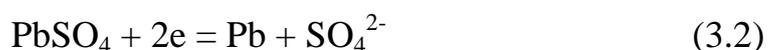
На основе анализа рассмотренных способов заряда аккумуляторных батарей можно утверждать, что в большинстве практических ситуаций

наиболее подходящим является заряд стабилизированным током с переходом в режим стабилизации по напряжению.

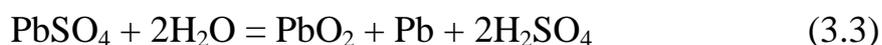
Процессы происходящие в режиме заряда АКБ [51]

Под влиянием напряжения источника постоянного тока, в цепь которого включен аккумулятор, во внешней цепи устанавливается направленное движение электронов к отрицательному выводу батареи.

Двухвалентные ионы свинца восстанавливаются поступающими электронами, превращая активную массу отрицательного электрода в металлический губчатый свинец, с образованием серной кислоты:



У положительного электрода под действием зарядного тока двухвалентные ионы свинца Pb^{2+} отдают два электрона, окисляясь в четырехвалентные ионы Pb^{4+} . Последние, соединяясь с двумя ионами кислорода, образуют двуокись свинца PbO_2 , которая выделяется на электроде. Ионы SO_4^{2-} и H^+ образуют серную кислоту, в результате чего растет плотность электролита. Суммарная реакция имеет вид:



Когда процессы преобразования веществ в активных массах положительного и отрицательного электродов окончены, плотность электролита перестает изменяться, что служит признаком конца заряда аккумулятора. При дальнейшем продолжении заряда происходит интенсивное электролитическое разложение воды на кислород и водород, которые выделяются из электролита в виде пузырьков говорят, что аккумулятор «кипит». Это тоже один из признаков окончания заряда.

Разряд аккумуляторной батареи

В режиме разряда аккумуляторной батареи свинец отрицательного электрода частично растворяется в электролите с образованием положительных ионов:



При этом освободившиеся избыточные электроны сообщают электроду отрицательный заряд и собственно говоря образуют ток во внешней цепи, двигаясь к положительному электроду[13]. Далее, появившиеся положительные ионы свинца Pb^{2+} немедленно вступают в реакцию с отрицательными ионами SO_4^{2-} с образованием сульфата свинца:

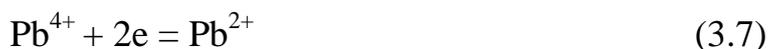


Он имеет незначительную растворимость и поэтому осаждается на поверхности отрицательного электрода. Таким образом, в результате разряда аккумулятора активная масса отрицательного электрода преобразуется из губчатого свинца в сернокислый свинец с изменением серого цвета на светло-серый.

В это же время, на положительном электроде, двуокись свинца PbO_2 растворяется в электролите в значительно меньшем количестве, чем свинец отрицательного электрода. При взаимодействии с водой PbO_2 диссоциирует, образуя ионы четырехвалентного свинца Pb^{4+} и ионы гидроксила OH^-



Ионы Pb^{4+} сообщают электроду положительный потенциал и, присоединяя электроны, пришедшие по внешней цепи от отрицательного электрода, восстанавливаются до ионов двухвалентного свинца:



Получившиеся ионы Pb^{2+} взаимодействуют с ионами SO_4^{2-} , образуя сернокислый свинец, который осаждается, но теперь уже на поверхности положительного электрода. Таким образом, по мере разряда активная масса положительного электрода преобразуется из двуокиси свинца в сернокислый свинец с изменением цвета с темно-коричневого в светло коричневый. Применительно к обеим пластинам, в этом заключается процесс сульфатации пластин - после разряда оба активных материала электродов преобразуются в сульфат свинца $PbSO_4$. При этом, в результате реакции расходуется серная

кислота и образуется вода из ионов H^+ и OH^- , что приводит к снижению плотности электролита.

Суммарно процессы, происходящие на электродах описываются уравнениями:

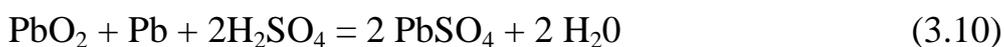
На положительном электроде:



На отрицательном электроде:



Общее уравнение:

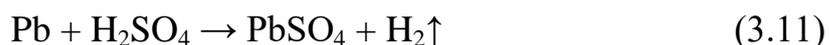


Необходимо обратить внимание на то, что на каждые две израсходованные молекулы серной кислоты образуются четыре молекулы воды. Но, учитывая то, что в то же самое время две молекулы воды расходуются на гидратацию, в итоге образуется только две молекулы воды.

Режим хранения аккумуляторной батареи

«Хранение» - характеризуется саморазрядом (потеря емкости в течение определенного промежутка времени в данном режиме эксплуатации АКБ).

Саморазрядом называют уменьшение емкости аккумуляторов при разомкнутой внешней цепи, то есть при бездействии. Это явление вызвано окислительно-восстановительными реакциями, самопроизвольно проходящими как на отрицательном, так и на положительном электродах. Саморазряду в особенности подвержен отрицательный электрод вследствие самопроизвольного растворения свинца (отрицательной активной массы) в растворе серной кислоты по реакции:



Саморазряд отрицательного электрода сопровождается выделением газообразного водорода. Скорость самопроизвольного растворения свинца существенно повышается с увеличением концентрации серной кислоты. Повышение плотности электролита с 1,27 до 1,32 г/см³ ведет к росту скорости саморазряда отрицательного электрода на 40%.

Присутствие примесей разных металлов на поверхности отрицательного электрода оказывает весьма существенное влияние (каталитическое) на рост скорости саморастворения свинца (вследствие понижения перенапряжения выделения водорода). Практически все металлы, встречающиеся в виде примесей в аккумуляторном сырье, электролите и сепараторах, способствуют увеличению саморазряда. Попадая на поверхность отрицательного электрода, они облегчают условия выделения водорода. Часть примесей (соли металлов с переменной валентностью) действуют как переносчики зарядов с одного электрода на другой. В таком случае ионы металлов восстанавливаются на отрицательном электроде и окисляются на положительном (такой механизм саморазряда приписывают ионам железа).

Саморазряд положительного активного материала обусловлен протеканием реакции:



Скорость данной реакции также увеличивается с ростом концентрации электролита. Скорость саморазряда положительного активного материала в несколько раз ниже скорости саморазряда отрицательного активного материала.

Еще одной причиной саморазряда положительного электрода является разность потенциалов материала токоотвода и активной массы этого электрода. Возникающий вследствие этой разности потенциалов гальванический микроэлемент превращает, при протекании тока, свинец токоотвода и двуокись свинца положительной активной массы в сульфат свинца.

Саморазряд может возникать также, когда аккумулятор снаружи загрязнен или залит электролитом, водой или другими жидкостями, которые создают возможность разряда через электропроводную пленку, находящуюся между полюсными выводами аккумулятора или его перемычками. Этот тип саморазряда не отличается от обычного разряда очень малыми токами при замкнутой внешней цепи и легко устраняется. Для этого необходимо содержать поверхность автомобильного аккумулятора в чистоте [49].

Саморазряд аккумуляторов в значительной мере зависит от температуры электролита. Эта зависимость показана на рисунке 3.1.6, где видно, что с уменьшением температуры саморазряд понижается. При температуре ниже 0°C у новых аккумуляторных батарей он практически прекращается. Поэтому хранить автомобильные аккумуляторы рекомендуется в заряженном состоянии при низких температурах (до -30 °C). Из рисунка также видно, что в течении эксплуатации саморазряд не остается постоянным и резко усиливается к концу срока службы.

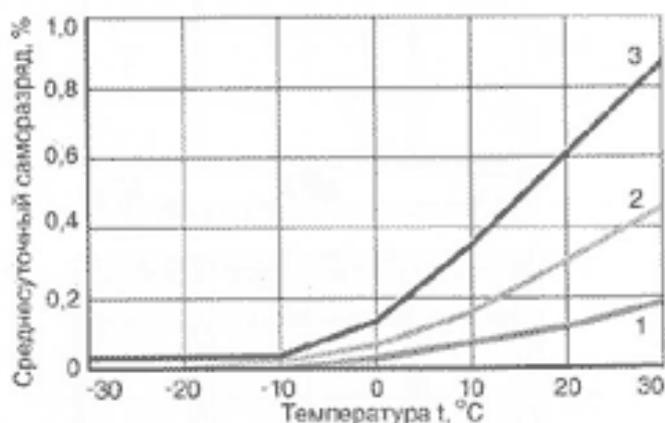


Рисунок 3.1.6 - Среднесуточный саморазряд необслуживаемой аккумуляторной батареи за три месяца в зависимости от температуры и продолжительности эксплуатации (содержание Sb - 2,5%): 1 - новый аккумулятор, 2 - аккумулятор после среднего срока эксплуатации, 3 - аккумулятор в конце срока службы

Понижение саморазряда возможно за счет использования наиболее чистых материалов для производства аккумуляторов; за счет уменьшения количественного содержания легирующих элементов в аккумуляторных сплавах; за счет использования только чистой серной кислоты и дистиллированной воды (или близкой к ней по чистоте при других методах очистки) для получения всех электролитов, как при производстве, так и при эксплуатации.

Например, благодаря понижению содержания сурьмы в сплаве токоотводов с 5% до 2% и использованию дистиллированной воды для всех технологических электролитов, среднесуточный саморазряд уменьшается в 4 раза.

Замена сурьмы на кальций позволяет еще больше уменьшить скорость саморазряда (рисунок 3.1.7). Снижению скорости саморазряда могут также способствовать добавки органических ингибиторов саморазряда.



Рисунок 3.1.7 - Изменение уровня заряженности автомобильных аккумуляторов различных конструкций при хранении: 1 - аккумуляторы со свинцово-кальциевыми сплавами, 2 - гибридные аккумуляторы, 3 - аккумуляторы с малосурьмяными сплавами, 4 - аккумуляторы традиционного исполнения

3.2 Моделирование факторов потери работоспособности аккумуляторной батареи

При имитационном моделировании АКБ необходимо учитывать изменения как внешних, так и внутренних факторов проявляющихся при эксплуатации АКБ, а так же условия их вызывающие.

Изменения условий эксплуатации могут вызвать потерю работоспособности АКБ через наступление:

- короткого замыкания - происходит из-за снижения сопротивления изоляции;

- разлива электролита - происходит в результате повышения уровня электролита у аккумуляторов;

- сульфатации электродов, которая происходит в результате:

- а) снижения емкости АКБ;

- б) понижения плотности электролита;

- в) преждевременного достижения конечного напряжения при разряде;

- растворения медных решеток отрицательных электродов, происходящее в результате:

- а) значительного снижения напряжения при разряде и заряде;

- б) понижения плотности электролита;

- короткого замыкания между электродами у двух контрольных аккумуляторов, происходящее при:

- а) значительном снижении напряжения аккумулятора;

- б) понижении плотности электролита;

- повышенного саморазряда аккумуляторной батареи - это потеря электричества без включения внешних потребителей тока. Саморазряд, в основном, обусловлен саморазрядом отрицательного электрода. Саморазряд положительного электрода значительно меньше, чем отрицательного. Саморазряд

отрицательного электрода происходит, в основном, в результате его медленного растворения в электролите. Эта реакция сопровождается образованием сульфата свинца и водорода. Примесь солей железа и других кислот в электролите ускоряет процесс саморазряда. Поэтому нельзя использовать техническую серную кислоту, в которой обычно соединений железа больше, чем 0,01%. Сурьма, добавляемая в решетки аккумуляторов для повышения их прочности, также увеличивает саморазряд. Бессурьмянистые аккумуляторы (активированные кальцием) имеют очень малые токи саморазряда. Саморазряд аккумуляторов считается нормальным, если он не превышает одного процента в сутки, или 30% емкости батареи в месяц.

Процессы саморазряда протекают более интенсивно в разряженных, изношенных аккумуляторах. Саморазряд приводит к ускоренной сульфатации пластин и снижению рабочих характеристик аккумулятора.

Для предотвращения вредных последствий саморазряда необходимо:

- применять качественный электролит;
- поддерживать нормальную плотность электролита;
- поддерживать батарею в заряженном состоянии;
- проводить десульфатацию пластин.

Моделирование вышеперечисленных процессов, вызывающих потерю работоспособности АКБ, производится посредством ввода поправочного коэффициента $K_{нс}$ в выражение 3.1. Выбор коэффициента поправки зависит от вида нештатной ситуации [45].

Выводы

Разработана модель имитации основных эксплуатационных режимов работы аккумуляторной батареи, за базовые приняты параметры заряда, разряда АКБ и режим хранения.

Дополнительно введено в модель понятие режимов эксплуатации и условий изменения внешних и внутренних факторов вызывающих снижение, а в отдельных случаях и отказ в работе АКБ, предложено ввести поправочный коэффициент $K_{нс}$.

4 Экспериментальные исследования систем электроснабжения транспортных средств

4.1 Конструирование системы контроля и диагностирования аккумуляторной батареи

По рассмотренным патентам и проведенным аналитическим исследованиям выполнена модернизация существующих конструкций систем диагностики аккумуляторных батарей [32-36].

Внедрение системы контроля и диагностики в реальном времени позволит обеспечить постоянный и непрерывный сбор информации по таким основным параметрам, как напряжение, ток, ёмкость, уровень электролита, температура, измеренные для каждого элемента аккумуляторной батареи, позволит сократить ручной сбор информации и облегчить эксплуатацию аккумуляторных батарей.

Поэтому на базе (в корпусе) аккумуляторной батареи предлагается создать диагностический комплекс по мониторингу и обработке не только выше указанных параметров, но так же параметра плотности и некоторых других с последующей передачей обработанных данных на дисплей компьютера.

В каждой из 6 секций АКБ установим по 3 типа датчиков: датчики плотности, температуры и вольтметр, которые будут собирать соответствующие показания плотности, температуры и напряжения с последующей передачей на контроллер. На рисунке 4.1.1 представлена упрощенная схема диагностического комплекса АКБ.

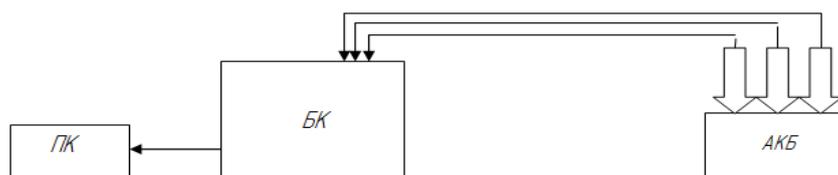


Рисунок 4.1.1 - Упрощенная схема диагностического комплекса АКБ:

ПК - контрольная панель, БК - блок контроля и обработки, р - датчик плотности,

v - вольтметр, t - датчик температуры.

Обработку первичных входящих аналоговых сигналов с датчиков контроля состояния и дальнейшую передачу цифрового сигнала на ПК выполнит универсальный контроллер Arduino Mega 2560 (рисунок 4.1.2) [43].

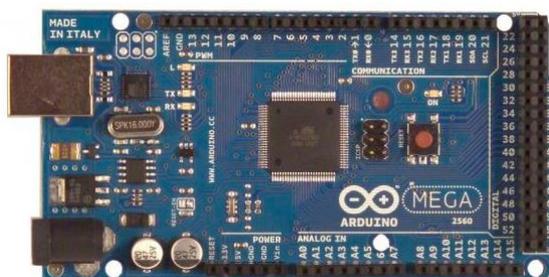


Рисунок 4.1.2 - Универсальный контроллер Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 построена на микроконтроллере ATmega2560. Плата имеет 54 цифровых входа/выходов (14 из которых могут использоваться как выходы ШИМ), 16 аналоговых входов, 4 последовательных порта UART, кварцевый генератор 16 МГц, USB коннектор, разъем питания, разъем ICSP и кнопка перезагрузки. Для питания контроллера он подключается к компьютеру посредством кабеля USB или на него подается питание при помощи адаптера AC/DC, или аккумуляторной батареей. Электро-схема контроллера представлена в приложении 4. [2]

Таблица 4.1.1 - Краткие технические характеристики универсального микроконтроллера Arduino Mega 2560

№п/п	Параметр	Значение
1	Рабочее напряжение	5В
2	Входное напряжение (рекомендуемое)	7-12В
3	Цифровые Входы/Выходы	54 (14 из которых могут работать также как выходы ШИМ)
4	Аналоговые входы	16
5	Постоянный ток через вход/выход	40 mA
6	Постоянный ток для вывода 3.3 В	50 mA
7	Флеш-память	256 КВ (из которых 8 КВ используются для загрузчика)

8	ОЗУ	8 КВ
9	Энергонезависимая память	4 КВ

Для измерения температуры электролита применим датчики температуры DS18B20 type, которые выполнены в металлическом корпусе и способны работать в агрессивных средах. Контроль плотности возможно произвести с помощью устройства собственной конструкции, которое содержит датчик с пьезоэлектрическими излучающими и приемными преобразователями, источник высокочастотного напряжения, вычислительное устройство, отличающееся тем, что датчик содержит двухканальный акустический тракт, первый канал которого образует одна пара излучатель-приемник с расположенным между ними звукопроводом первого акустического канала, имеющего форму контура и выполненного из магнестрикционного материала, внутренняя поверхность которого расположена в электролите аккумулятора. Плотность определяется исходя из скорости распространения звука в жидких средах. Первичная обработка поступающих сигналов с аналоговых датчиков выполняется контроллером с использованием программы загруженной в него.

Контроллер так же выполняет обработку сигналов с цифровых датчиков температуры. После необходимых вычислений возможен вывод общей информации о состоянии АКБ (напряжение батареи, емкость, средняя температура, критическая плотность) на графический дисплей и экран ПК.

Далее, на рисунке 4.1.3 представлен вариант схемы подключения датчика температуры DS18B20 работающего под управлением контроллера:

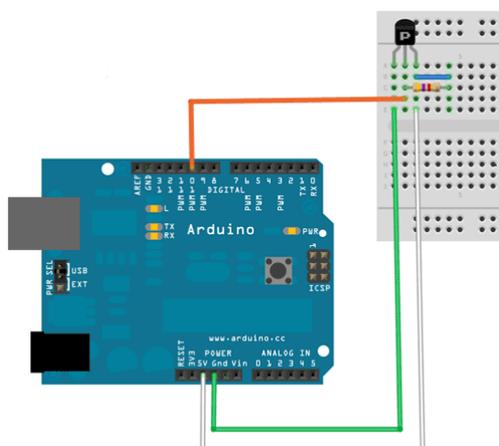


Рисунок 4.1.3 - Схема подключения датчика температуры DS18B20

После необходимых расчетов имеется возможность через аппаратный интерфейс USB передать данные в цифровом виде на ПК, где они далее считываются программной средой MatLAB Simulink и затем проводятся дальнейшие расчеты, создание диаграмм и вывод конечных результатов на монитор ПК.

Для расчета основного параметра АКБ, остаточной емкости, можно использовать следующие способы:

- известен способ для определения остаточной емкости кислотной свинцовой аккумуляторной батареи (№ 1619360, Н 01 М 10/48, БИ № 1, 1991 г.) [27], когда АКБ подключают к тестовой нагрузке и, измеряя напряжение на АКБ до подключения нагрузки E и с ней U_H , вычисляют коэффициент степени разряженности k по следующей формуле 4.1.1:

$$k = (E_{\max} - E) / (U_H - U_{\min}) \quad (4.1.1)$$

где E_{\max} - максимальное ЭДС АКБ,

U_{\min} - минимально допустимое напряжение на АКБ при разряде.

Затем по определенной зависимости (формула 4.1.2), определяем остаточную емкость АКБ.

$$Q_{\text{ост}} = f(k) \quad (4.1.2)$$

- способ измерения остаточной электрической емкости химических источников тока, описан в патенте России №2214025 [37], реализован по алгоритму, представленному следующей формулой:

$$Q_{\text{хим}} = C \cdot U / (2t_{\text{зар}} \cdot k) \quad (4.1.3)$$

где $Q_{\text{хим}}$ - остаточная емкость измеряемого источника тока, А·ч;

C - емкость заряжаемого конденсатора, Ф;

U - напряжение на измеряемом источнике тока, В;

$t_{\text{зар}}$ - время заряда конденсатора от измеряемого источника, с;

k - коэффициент, учитывающий конструктивные и технологические особенности измеряемого химического источника тока.

Остальные необходимые параметры АКБ можно вычислить известными способами измеряя температуру в каждом аккумуляторе, общую температуру, напряжение общее, в каждом аккумуляторе, под нагрузкой, плотность, сопротивление батареи и некоторые другие параметры.

4.2 Взаимодействие аппаратной и программной элементных баз конструкции

Аппаратно-программный диагностический комплекс, представленный на рисунке 4.2.1, состоит из программной и аппаратной частей:

- Программная часть [7,18] реализована в среде MatLAB Simulink и на её основе построена модель режимов работы аккумулятора (PM), конфигурация ядра микроконтроллера (МК). Конфигурационное ядро исполняется на самом микроконтроллере, а модель PM работают на персональном компьютере (ПК) в среде MatLAB;

- Аппаратная часть устройства состоит из двух частей ПК со средой разработки MatLAB и микроконтроллера Arduino. Интерфейсом, соединяющим ПК с МК, является программный туннель RS-232 через аппаратный интерфейс USB.

По интерфейсу связи передаются команды конфигурации ядра микроконтроллера, команды управления периферией, а также в ПК из МК отправляется информация о состоянии датчиков и некоторая расчетная информация.

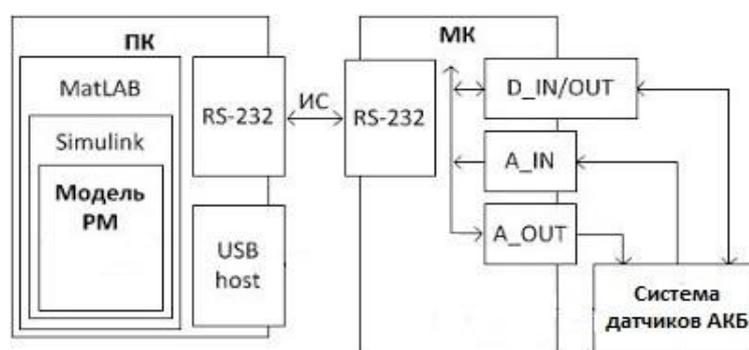


Рисунок 4.2.1 - Аппаратно-программная реализация диагностической системы

Далее представлена формула полезной модели разработанной СКД АКБ (RU № 129262, МПК G01R31/36, от 9.01.2013 г.) [41]:

Устройство для мониторинга параметров свинцового аккумулятора в реальном времени, расположенное в корпусе аккумуляторной батареи, включающее датчики измерения температуры и уровня жидкости (электролита), устанавливаемые внутрь аккумулятора над блоком пластин, отличающееся тем, что в крышку свинцового аккумулятора устанавливают бесконтактные ультразвуковые измерители плотности жидкости (электролита), показания, собранные с датчиков, обрабатывает контроллер, который циклически (с заданным интервалом) диагностирует аккумуляторную батарею при включенной системе зажигания с последующей передачей обработанного сигнала через диагностическую шину и выводом на графический дисплей.

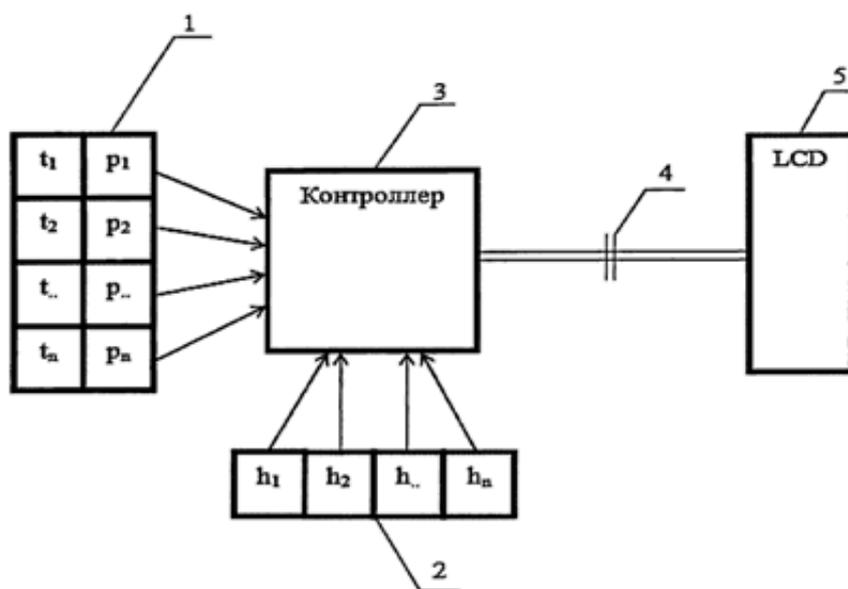


Рисунок 4.2.2 - Схема взаимодействия элементов устройства

На рисунке 4.2.2 изображена принципиальная схема взаимодействия элементов устройства для мониторинга параметров свинцового аккумулятора в реальном времени.

Устройство для мониторинга параметров свинцового аккумулятора в реальном времени [41] состоит из установленных в крышку бесконтактных ультразвуковых измерителей 1 плотности жидкости, а также датчиков 2 измерения температуры и уровня жидкости (электролита), устанавливаемые

внутри аккумулятора над блоком пластин и состоящие из вертикально расположенного протяженного терморезистора, длина которого равна диапазону изменения уровня электролита в аккумуляторной батарее, вдоль которого перемещается свободная поверхность электролита при изменении его уровня, и двух других терморезисторов, один из которых прикреплен к нижнему, а другой к верхнему концу протяженного терморезистора. Показания, собранные с датчиков, обрабатывает контроллер 3 с последующей передачей обработанного сигнала через диагностическую шину 4 на графический дисплей 5.

Устройство для мониторинга параметров свинцового аккумулятора в реальном времени работает следующим образом. При включении системы зажигания контроллер 3, установленный на крышке аккумуляторной батареи, производит первичный опрос установленных датчиков 1 и 2. Терморезисторные датчики 2 осуществляют измерение параметров температуры и уровня электролита в каждой банке аккумуляторной батареи. Установленные в крышке аккумуляторной батареи бесконтактные ультразвуковые измерители 1 измеряют параметры плотности жидкости. Результаты измерения параметров с датчиков 1 и 2 поступают на контроллер 3, который вычисляет эксплуатационные параметры (емкость, напряжение, степень заряженности и др.) аккумуляторной батареи. Передача вычисленных параметров происходит при помощи диагностической шины 4 на графический дисплей 5 или на дисплей ЭВМ. Данное устройство циклически (с заданным интервалом) диагностирует аккумуляторную батарею при включенной системе зажигания.

Использование данной полезной модели позволит:

1. Производить измерения параметров уровня, напряжения, плотности и температуры электролита циклически в реальном времени;
2. Сделать систему мобильной, установленной на корпусе аккумулятора;
3. Применять данную систему на различных аккумуляторных батареях за счет универсальности их конструкции.

Использование устройства для мониторинга параметров свинцового аккумулятора в реальном времени позволяет:

1. Увеличить надежность, исключив возможность выхода из строя аккумуляторной батареи при ее эксплуатации в удалении от сервисных зон.

2. Продлить срок службы аккумуляторной батареи за счет ее своевременного обслуживания.

4.3 Результаты экспериментов

Планирование эксперимента – это процедура выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью [26].

При этом необходимо придерживаться следующих ограничений:

1. Общее число опытов должно быть по возможности минимальным;
2. Необходимо одновременно изменять все переменные, определяющие (влияющие) процесс. Причем это изменение должно происходить по определенным правилам–алгоритмам;
3. При описании исследований необходимо использовать математический аппарат, формализующий действия экспериментатора;
4. В процессе проведения и планирования эксперимента необходимо придерживаться четкой стратегии, позволяющей принимать обоснованные решения после каждой серии экспериментов.

Задачей «Планирования эксперимента» является разработка рекомендаций или производственного процесса на основе исследования предварительных опытных данных для дальнейшей их реализации и построения математической модели исследуемого процесса с целью дальнейшего прогнозирования производства. Как правило, результатами таких исследований являются разработки наиболее оптимальных рекомендаций, технологического процесса, имеющих важные экономические, технические, технологические последствия и влекущих за собой как модернизацию отдельного технологического процесса, так и целого производства.

Для диагностирования аккумуляторной батареи принято использовать следующее оборудование:

– аккумуляторная батарея *Titan Asia Silver 6СТ-47.1* (рис. 4.3.1);

Технические характеристики:

- емкость – 47 А/ч;
- пусковой ток – 400 А;
- полярность – прямая;
- напряжение – 12 V.



Рисунок 4.3.1 – АКБ Titan Asia Silver 6СТ-47.1

– цифровой мультиметр РЕСАНТА DT181 – 1 шт. (рис. 4.3.2)[24];

Технические характеристики:

- измеряемое постоянное напряжение: 0,001...500 В.
- измеряемое переменное напряжение: 0,1...500 В.
- измеряемый постоянный ток: 0.1 мА...10 А.
- измеряемое сопротивление: 0.1 Ом...2 МОм.
- измерение параметров транзисторов.
- тест диодов.



Рисунок 4.3.2 – Цифровой мультиметр РЕСАНТА DT181

– ареометр автомобильный – 1 шт. (рис 4.3.3)[6];



Рисунок 4.3.3 – Ареометр автомобильный

– спиртовой термометр в стеклянной колбе – 1 шт. (рис. 4.3.4);



Рисунок 4.3.4 – Спиртовой термометр в стеклянной колбе

– датчики температуры DS18B20 type – 7 шт. (рис. 4.3.5)[3,8];

Технические характеристики:

- тип датчика - DS18B20;
- Корпус - TO-92;
- Разрядность - 9...12бит;
- Время преобразования - 750nS (max);
- Точность измерения $\pm 0.5\%$ в области температур - 10 ...+85°C;
- Напряжение питания для точности измерения $\pm 0.5\%$ - 3,0-5,5V.



Рисунок 4.3.5 – Датчики температуры DS18B20

– универсальный контроллер Arduino Mega 2560 – 1 шт. (рис. 4.3.6);

Технические характеристики:

- рабочее напряжение - 5В;
- входное напряжение (рекомендуемое) - 7-12В;
- цифровые входы/выходы - 54 (14 из которых могут работать также как выходы ШИМ);
- аналоговые входы - 16;
- постоянный ток через вход/выход - 40 мА;
- постоянный ток для вывода 3.3 В - 50 мА;
- флеш-память - 256 КВ (8 КВ используются для загрузчика);
- ОЗУ - 8КВ;
- энергонезависимая память- 4 КВ.

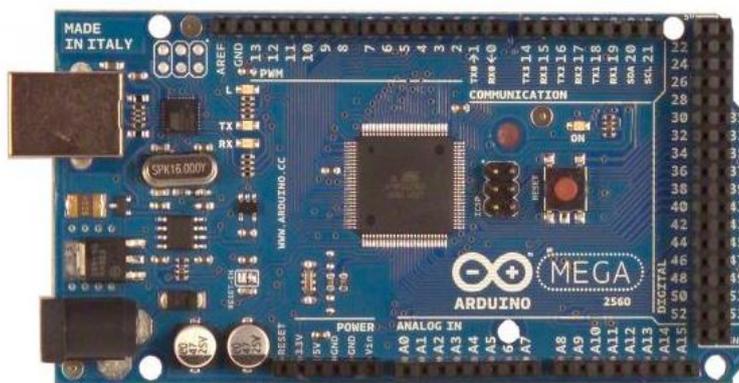


Рисунок 4.3.6 - Универсальный контроллер Arduino Mega 2560

– ЖК LCD 20x2 – 1 шт. (рис. 4.3.7);

Технические характеристики:

- рабочая температура от -40 до 80;

- низкая рассеиваемая мощность;
- 2 строки по 20 символов (5x8 точек)
- контроллер совместим с HD44780
- 4-бит или 8-битный интерфейс MPU
- высокоскоростной интерфейс MPU: 2 МГц (VDD = 5В)

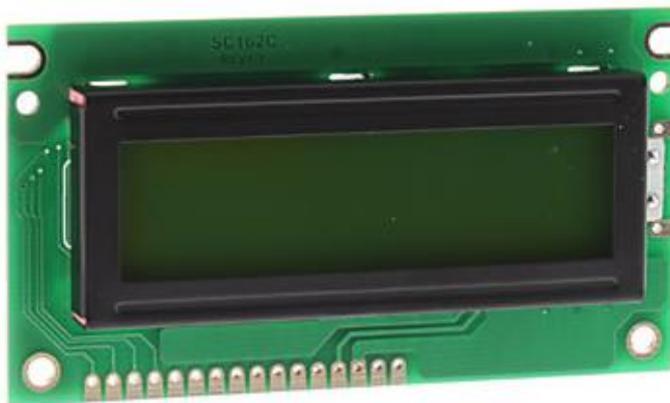


Рисунок 4.3.6 - ЖК LCD 20x2

– соединительные провода.

Разработка технологии выполнения эксперимента

Для проведения эксперимента в каждую из 6 секций АКБ, сняв пробки, устанавливаем датчики плотности и температуры, которые погружаем в раствор электролита и подключаем выводы вольтметра к решеткам, которые будут собирать соответствующие показания напряжения в каждой ячейке аккумулятора, а так же подключаем выводы вольтметра на выходы АКБ (что бы получить значение общего напряжения). Для того что бы узнать текущее значение тока разряда устанавливаем дополнительную плату в цепь подключения аккумуляторной батареи.

Обработку входящих аналоговых сигналов с датчиков контроля состояния и дальнейшую передачу цифрового сигнала на ПК выполнит универсальный контроллер Arduino Mega 2560.

Для дальнейшего контроля и сопоставления параметров дублируются вышеперечисленные операции вручную, в качестве контрольных приборов

взяты: ареометр, мультиметр и термометр. При этом записываем все значения в соответствующие таблицы для анализа, после пробега автомобиля в 500 км.

Сбор данных, результаты

Сбор данных проведен при температуре окружающей среды 30°C с помощью контроллера и заносятся в таблицу 4.3.1.

Таблица 4.3.1 – Данные с контроллера

№ аккумулятора	1	2	3	4	5	6
Плотность	1.25	1.23	1.27	1.24	1.23	1.24
Температура	25	25	27	26	24	26
Напряжение	2.43	2.45	2.42	2.38	2.41	2.39

Общее напряжение – 12,40 В.

На рисунке 4.3.7 представлены показания приборов учета температуры окружающей среды, а так же расчетный заряд аккумуляторной батареи.



Рисунок 4.3.7 - Показания приборов температуры окружающей среды, расчетный заряд аккумуляторной батареи

На рисунке 4.3.8 представлены показания приборов учета плотности электролита, полученные с контроллера.

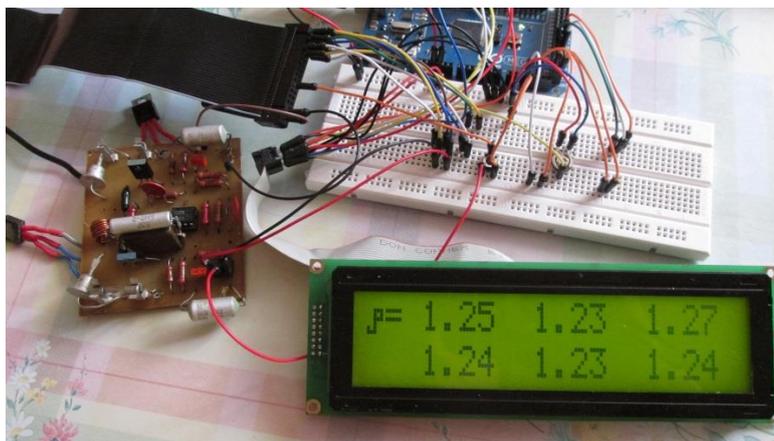


Рисунок 4.3.8 - Плотность электролита (в каждом аккумуляторе)

На рисунке 4.3.9 представлены показания приборов учета температуры электролита.

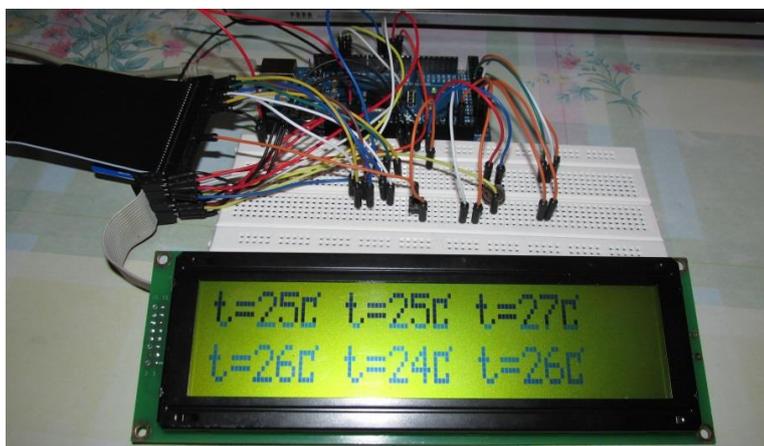


Рисунок 4.3.9 - Температура электролита

На рисунке 4.3.10 представлены показания приборов учета напряжения, полученные с контроллера (контроллер выдал лишнюю единицу перед значением, что впоследствии определено, как программный сбой).

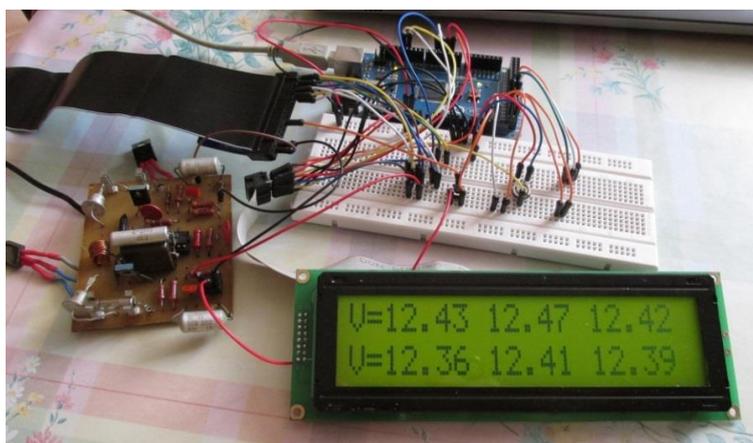


Рисунок 4.3.10 - Показания вольтметра

Для лучшего понимания процессов происходящих в аккумуляторной батарее выводим на дисплей средние показания, рисунок 4.3.11.

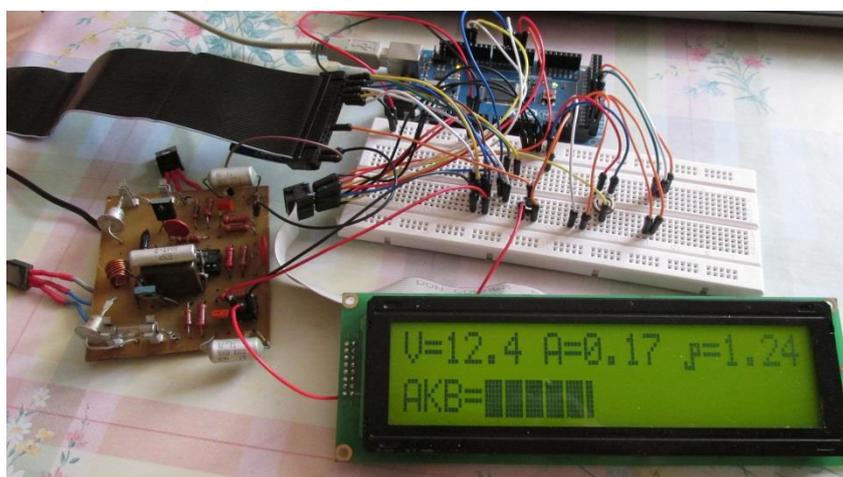


Рисунок 4.3.11 - Средние показания состояния АКБ

Для сопоставления данных проведены те же самые измерения при температуре окружающей среды 30°C с помощью ручных средств измерения, результаты занесем в таблицу 4.3.2

Таблица 4.3.2 – Данные полученные с помощью ручных средств измерения

№ аккумулятора	1	2	3	4	5	6
Плотность	1.24	1.24	1.26	1.25	1.24	1.24
Температура	25	24	25	26	24	26
Напряжение	2.43	2.47	2.42	2.36	2.41	2.39

Общее напряжение – 12,41 В.

На рисунке 4.3.12 показан процесс измерения плотности электролита ручным методом с помощью ареометра.



Рисунок 4.3.12 - Измерение плотности вручную

На рисунках 4.3.13 – 4.3.15 показаны расхождения в показаниях собранных ручным способом и с помощью системы измерения работающей под управлением контроллера.

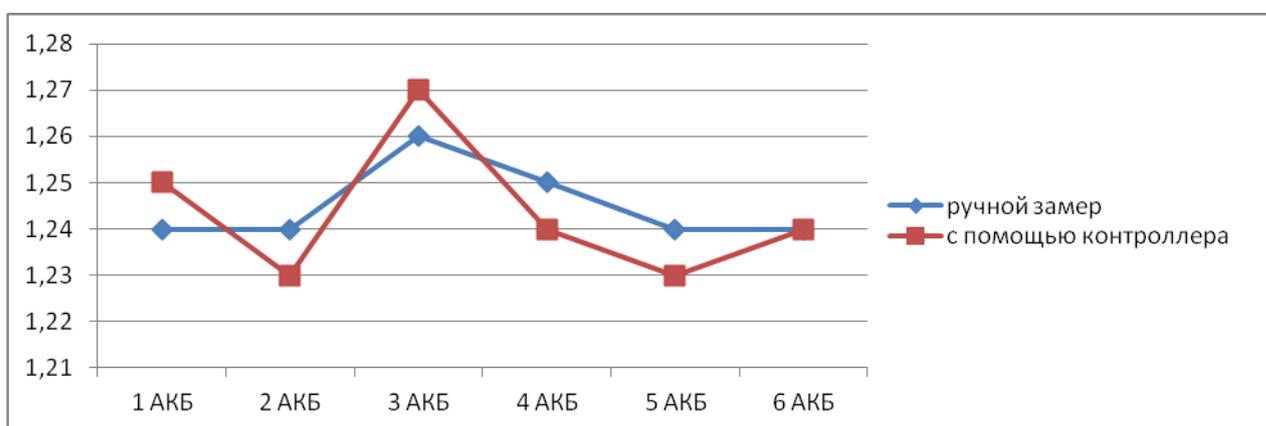


Рисунок 4.3.13 - Сравнение показателей плотности электролита

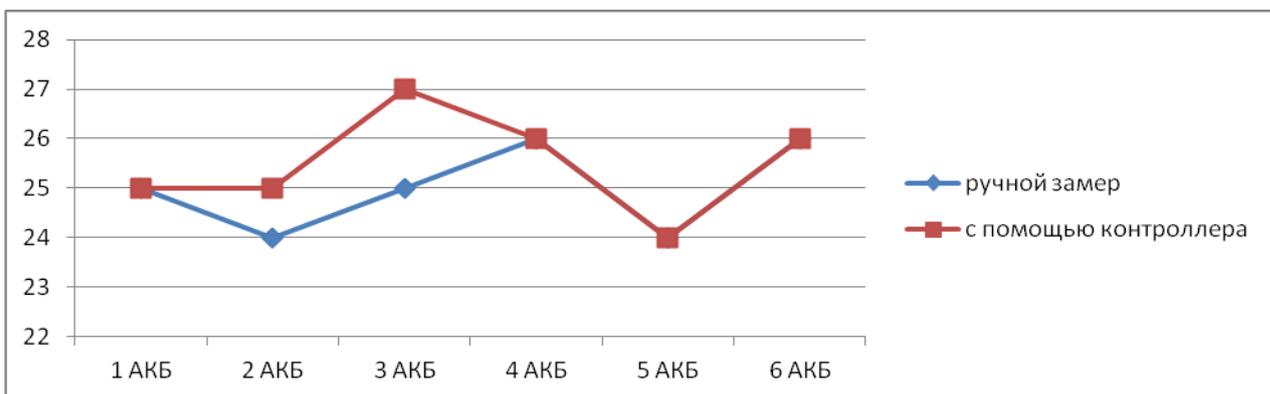


Рисунок 4.3.14 - Сравнение показателей температуры электролита

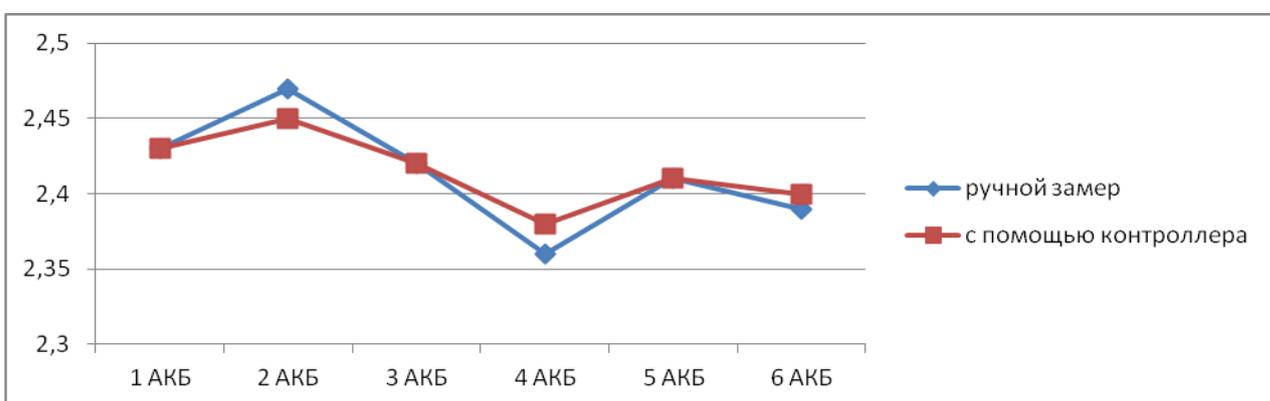


Рисунок 4.3.15 - Сравнение показателей напряжения (1 замер)

После пробега в 500 км на автомобиле, и как следствие зарядке полуразряженной аккумуляторной батареи, показатели изменяются. Это объясняется тем, что АКБ установлен под капотом автомобиля и увеличением при зарядке температуры электролита. Проведение повторных измерений с помощью контроллера, позволило получить уточненные данные, представленные в таблице 4.3.3

Таблица 4.3.3 – Данные полученные с контроллера после пробега автомобиля в 500 км

№ аккумулятора	1	2	3	4	5	6
Плотность	1.24	1.24	1.25	1.23	1.23	1.23
Температура	29	31	28	29	29	28
Напряжение	2.49	2.51	2.49	2.46	2.44	2.51

Общее напряжение – 12,53 В.

Таблица 4.3.4 – Данные полученные с помощью ручных средств измерения после пробега автомобиля в 500 км

№ банки	1	2	3	4	5	6
Плотность	1.24	1.25	1.24	1.24	1.25	1.25
Температура	29	31	29	29	29	28
Напряжение	2.49	2.51	2.49	2.46	2.44	2.51

Общее напряжение – 12,51 В.

В связи с труднодоступностью подключения к решеткам пластин и сложностью измерение плотности электролита с помощью ручного ареометра возникли некоторые неточности в измерениях непосредственно в аккумуляторах батареи. Исходя из этого можно сделать вывод, что вычисление состояния АКБ посредством ЭВМ высокого уровня с использованием высокоточных электронных датчиков является наиболее перспективным, т.к. является более точным способом измерения в, отличии от ручных методов.

Выводы

Разработано устройство диагностирования аккумуляторной батареи в реальном времени, составные части данной системы, частично приведены формулы для расчета состояния аккумуляторной батареи.

Подана заявка и получено положительное решение на полезную модель.

Представлена схема взаимодействия аппаратной и программной частей устройства и описан процесс взаимодействия этих частей.

Проведено экспериментальное исследование, произведен подбор необходимого оборудования для проведения эксперимента, разработана технология выполнения эксперимента и в завершение проведен эксперимент, в результате которого сделаны выводы о достоверности данных полученных с помощью электронных средств измерения и ручными методами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа направлена на дальнейшее развитие теории компьютерного моделирования аккумуляторной батареи и автоматизации процесса ее эксплуатации, а также на развитие построения и реализацию систем мониторинга электро-энергетических комплексов транспортно-технологических машин в режиме реального времени.

В ходе выполнения работы произведен обзор существующих типов аккумуляторных батарей применяемых на современных транспортных и технологических машинах, оценены их преимущества и недостатки.

Проанализированы проблемы усовершенствования аккумуляторов, изучена возможность использования альтернативных, более легких материалов в составе современных АКБ, рассмотрены мероприятия по повышению удельной энергии аккумуляторной батареи. Рассмотрены составляющие элементы систем электроснабжения различных транспортных средств, а так же способы оценки их технического состояния. Так же проанализированы существующие методы и средства диагностики, осуществлен патентный поиск на глубину 12 лет, целью которого был поиск информации по рассматриваемой тематике и формирование базового пакета патентно-информационных ресурсов с целью изучения отечественного и зарубежного опыта создания систем диагностирования и контроля, подбор аналогов и прототипов для формирования документации по конструированию СКД АКБ.

Дано математическое описание взаимосвязи основных параметров АКБ для различных эксплуатационных режимов работы. Из анализа полученных экспериментальных данных следует, что для определения остаточного ресурса АКБ, необходимо учитывать не только влияние внешних воздействующих факторов на выборочные элементы АКБ, но и влияние предшествующих режимов работы. Используя базовые расчетные теории по оценки параметров АКБ и по результатам анализа математического аппарата разработан алго-

ритм параметрической оценки работоспособности аккумуляторной батареи, получены статистические ряды динамики плотности и определена функция распределения, которая характерна кривой Гаусса.

По разработанному алгоритму представлена методика расчета зависимости оценки плотности электролита от зарядной емкости АКБ, получено математическое выражение. Построен график функций по результатам статистических данных, учитывающий среднеквадратичное отклонение и отображающий генеральную среднюю плотности АКБ, а так же ее кипение и верхние границы.

Разработана модель имитации основных эксплуатационных режимов работы аккумуляторной батареи, за базовые приняты параметры заряда, разряда АКБ и режим хранения.

Дополнительно введено в модель понятие режимов эксплуатации и условий изменения внешних и внутренних факторов вызывающих снижение, а в отдельных случаях и отказ в работе АКБ, предложено ввести поправочный коэффициент $K_{нс}$.

Разработано устройство диагностирования аккумуляторной батареи в реальном времени, составные части данной системы, частично приведены формулы для расчета состояния аккумуляторной батареи.

Проведено экспериментальное исследование, произведен подбор необходимого оборудования для проведения эксперимента, разработана технология выполнения эксперимента и в завершение проведен эксперимент, в результате которого сделаны выводы о достоверности данных полученных с помощью электронных средств измерения и ручными методами.

Список использованных источников

1. AGM (технология) - Википедия [Электронный ресурс] // URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/AGM_\(технология\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/AGM_(технология)) (дата обращения 17.03.2014).
2. Arduino Mega 2560. Описание [Электронный ресурс] // URL: <http://amperka.ru/collection/boards/product/arduino-mega-2560> (дата обращения 27.02.2014).
3. DS18B20-Датчик температуры цифровой [Электронный ресурс] // URL: <http://www.sinava.ru/DS18B20.php> (дата обращения 18.04.2014).
4. Аккумулятор автомобиля [Электронный ресурс] // URL: http://www.niva-faq.msk.ru/tehnika/elektro/akku/akku_av.htm (дата обращения 22.03.2014).
5. Аккумуляторные батареи, их маркировка, классификация. Основные неисправности, правила эксплуатации [Электронный ресурс] // URL: http://otherreferats.allbest.ru/transport/00166996_0.html (дата обращения 27.03.2014).
6. Ареометр электролита и тосола, инструкция по эксплуатации [Электронный ресурс] // URL: <http://1000-instrumentov.ru/instructions/areometr-elektrolita.html> (дата обращения 18.04.2014).
7. Архангельский А.Я. Программирование в C++ Builder 6. М.: БИНОМ, 2003, 1152 с.
8. Библиотека для работы с датчиками температуры DS18B20 [Электронный ресурс] // URL: <http://catcatcat.d-lan.dp.ua/skachat/biblioteki/biblioteka-dlya-raboty-i-s-datchikami-temperaturyi-ds18b20/> (дата обращения 20.04.2014).
9. Вайлов А. М., Эйгель Ф.И. Автоматизация контроля и обслуживания аккумуляторных батарей М.: Связь, 1975.

10. Гальванические элементы: Курсовая Работа, Ширшин Н.В. [Электронный ресурс] // URL: <http://topref.ru/referat/166493.html> (дата обращения 06.03.2014).
11. Губанов ЮА. Электроэнергетика кораблей // Системы управления и обработки информации: Научн.-техн. сб. / ФГУП «НПО «Аврора». СПб., 2005, Вып. 9, с. 29-43
12. Дасоян, М.Я. Эксплуатация и ремонт стартерных аккумуляторных батарей / Дасоян М.Я., Тютрюмов О.С., Аранчук Е.С., Бирюк К.И. ; М.: Транспорт, 1977.
13. Дунаев Ю.Д., Кирьяков Г.З, Чернышова З.Н. Неоднородность поверхности и электродные процессы на пористом Рb-аноде / Сб. тр. ин-та хим. наук АН Каз. ССР. Алма-Ата: 1962, Т.9.
14. Зарядные устройства [Электронный ресурс] // URL: <http://www.skachatreferat.ru/referaty/Зарядные-устройства/45445.html> (дата обращения 2.04.2014).
15. Зарядные устройства. Условия и режимы зарядки кислотных аккумуляторных батарей [Электронный ресурс] // URL: <http://www.kuppol.ru/infozarbat.html> (дата обращения 27.05.2014).
16. Из чего состоит аккумулятор Оптима [Электронный ресурс] // URL: <http://ru.convdocs.org/docs/index-183457.html> (дата обращения 12.03.2014).
17. Калинина, В.Н. Математическая статистика / Калинина В.Н., Панкин В.Ф. ; М.: Высшая школа, 1998, - 336с.
18. Кертен Р. Введение в QNX Neutrino 2. Руководство для разработчиков приложений реального времени. СПб. : БХВ-Петербург, 2005, 400 с.
19. Колде Я.К. Практикум по теории вероятностей и математической статистике. М.: Высшая школа, 1991. 157 с.
20. Коровин Н.В., Скундин А.М. Химические источники тока. Справочник М.: МЭИ, 2003.
21. Коровин Н.В. Электрохимическая энергетика, М.: Энергоиздат, 1991.

22. Кудрявцев Ю.Д., Кунаев В.М., Сушко В.Г., Фесенко Л.Н., Заглубоцкий В.М. Исследование распределения тока на физических моделях пористого электрода / Сб. работ по химическим источникам тока. Новочеркасск: НИИ. 1981.

23. Моделирование химических источников тока. / Отчеты о научно-исследовательской работе. Новочеркасск: НПИ, 1981.

24. Мультиметр Ресанта DT 181 [Электронный ресурс] // URL: <http://www.ulmart.ru/goods/339322> (дата обращения 18.04.2014).

25. Об аккумуляторах [Электронный ресурс] // URL: <http://retail.katod.ru/likbez/accum/> (дата обращения 23.03.2014).

26. Параметры оптимизации пневмопривода валковой подачи [Электронный ресурс] // URL: http://knowledge.allbest.ru/manufacture/3c0a65625a2bd68b5d53b89521306c37_0.html (дата обращения 15.05.2014).

27. Пат. № 1619360 Российская Федерация, МПК⁵ H01M10/48, G01R31/36, H01M10/06. Способ определения остаточной емкости кислотной свинцовой аккумуляторной батареи и устройство для его осуществления / Агабабян Ю.В., Арутюнян А.А, Момджян А.А., Петросян В.А. ; заявитель и патентообладатель Ереванский политех. инст. им. К. Маркса. - № 4375136; заявл. 10.02.1988; опубл. 7.01.1991.

28. Пат. № 1711630 Российская Федерация, МПК⁵ H01M10/42, G01R31/36. Устройство для контроля заряда аккумуляторной батареи / Холодов Е.В., Несмеев В.П. ; заявитель и патентообладатель НПП «Сатурн». - № 4410654/07; заявл. 18.04.1988 ; опубл. 30.10.1994, Бюл. № 33.

29. Пат. № 2025836 Российская Федерация, МПК⁵ H01M10/48. Устройство для контроля аккумуляторной батареи / Гольдштейн А.И. [LV], Рейнгардт Р.В. [LV], Федотов В.И. [LV], Феоктистов В.П. [RU] ; заявитель и патентообладатель Моск. инст. инж. жд. транспорта. - № 5034602/07; заявл. 27.03.1992 ; опубл. 30.12.1994, Бюл. № 38.

30. Пат. № 2127010 Российская Федерация, МПК⁶ H01M10/48, G01R31/36, G06F17/00. Устройство для определения параметров свинцового

аккумулятора / Маслаков М.Д.; заявитель и патентообладатель Маслаков М.Д. - № 95121423/09 ; заявл. 18.12.1995 ; опубл. 27.02.1999, Бюл. № 6.

31. Пат. № 2131158 Российская Федерация, МПК⁶ H01M10/48, G01R31/36. Устройство автоматического контроля технического состояния элементов аккумуляторной батареи / Ляпунов Р.А., Стрелков Ю.И., Шастик А.А. ; заявитель и патентообладатель Кубанский гос. тех. университет. - № 96115432/09; заявл. 31.07.1996 ; опубл. 27.5.1999, Бюл. № 15.

32. Пат. № 2156493 Российская Федерация, МПК⁷ G05B23/02. Автоматизированная система контроля / Пономарев Н.Н., Гоев Н.В., Иванов В.Д., Кондралев Б.Н., Лушин В.Н., Антонов В.И., Тришкин В.И.; заявитель и патентообладатель Рязанское конструкторское бюро «Глобус»- № 99103989/09; заявл. 24.02.1999; опубл. 20.09.2000, Бюл. № 26.

33. Пат. № 2156494 Российская Федерация, МПК⁷ G05B23/02. Способ контроля параметров звеньев систем управления и устройство для его осуществления / Шалобанов С.В., Чигринец А.Н.; заявитель и патентообладатель Хабаровский гос. тех. университет - № 99117192/09; заявл. 04.08.1999; опубл. 20.09.2000, Бюл. № 26.

34. Пат. № 2160919 Российская Федерация, МПК⁷ G05B23/02. Устройство для контроля параметров / Бурба А.А., Захаров И.В., Олейник А.Л.; заявитель и патентообладатель Бурба А.А., Захаров И.В., Олейник А.Л. - № 2000111229/09; заявл. 10.05.2000; опубл. 20.12.2000, Бюл. № 35.

35. Пат. № 2175451 Российская Федерация, МПК⁷ G05B23/02, G07C3/00. Способ и устройство для контроля системы с несколькими функциональными блоками / Рот Штефан (DE), Шварцингер Вольфганг (AT); заявитель и патентообладатель Кука Роботер Гмбх (De), Игм Роботерзюстеме Аг (At) - № 98108888/09; заявл. 29.04.1998 ; опубл. 27.10.2001, Бюл. №30.

36. Пат. № 2187142 Российская Федерация, МПК⁷ G05B23/02. Устройство для контроля параметров / Фролагин Д.Б., Хрисанов Н.Н.; заявитель и патентообладатель Самарский гос. тех. университет - № 2001107739/09; заявл. 22.01.2003 ; опубл. 10.08.2002, Бюл. № 22

37. Пат. № 2214025 Российская Федерация, МПК⁷ H01M10/48. Устройство для измерения электрической емкости химических источников тока / Косюк В.И. (UA) ; заявитель и патентообладатель Косюк В.И. (UA). - № 2001123326/09; заявл. 20.08.2001; опубл. 10.10.2003.

38. Пат. № 690448 Российская Федерация, МПК⁶ G05B23/02. Устройство для контроля параметров функционирования сложных технических объектов / Бабец Е.К., Хорольский В.П.; заявитель и патентообладатель Криворожский орден труд. кр. знамени - № 2502978; заявл. 27.07.1977 ; опубл. 5.10.1979, Бюл. №37

39. Пат. № 93013031 Российская Федерация, МПК⁶ H01M10/42 Автоматизированное устройство контроля режимов заряда и разряда аккумуляторной батареи / Невзгодин В.И., Терехов В.Ф. ; заявитель и патентообладатель Серпуховское высш. воен. ком.-инж. уч. р. войск им. Ленинского комсомола. - № 93013031/07 ; заявл. 10.03.1993 ; опубл. 27.05.1995, Бюл. № 36.

40. Пат. № 95100125 Российская Федерация, МПК⁶ H01M10/48, H01M10/42. Способ определения параметров аккумуляторной батареи / Князев В.С., Лысцов А.Я., Лысцов В.А., Мыльников В.А., Пугачев Е.В.; заявитель и патентообладатель Сибирская гос. горно-мет. ак. - № 95100125/07 ; заявл. 5.01.1995 ; опубл. 27.10.1996, Бюл. № 22.

41. Пат. на полезную модель № 129262 Российская Федерация, МПК G01R31/36. Устройство для мониторинга параметров свинцового аккумулятора в реальном времени / Севрюгина Н.С. (RU), Дикевич А.В. (RU), Корнеев А.С. (RU), Волков Е.А. (RU), Афонин В.Г. (RU); заявитель и патентообладатель ФГБОУВ ВПО «БГТУ им. В.Г. Шухова». - № 2013100676/28; заявл. 09.01.2013 ; опубл. 20.06.2013.

42. Притулюк В.А. Химические источники тока в авиации. М.: Воениздат, 1978, с. 40. патент

43. Программирование Ардуино [Электронный ресурс] // URL: <http://arduino.ru/Reference> (дата обращения 20.04.2014).

44. Процессы, происходящие в кислотных аккумуляторах. [Электронный ресурс] // URL: <http://carfolder.ru/item12/Akkumuljator.html> (дата обращения 22.03.2014).

45. Савченко, А.В. Разработка корабельной автоматизированной системы контроля и диагностики аккумуляторных батарей дизель-электрических подводных лодок : дис. канд. техн. наук : 05.13.06 / Савченко Александр Владимирович. – СПб., 2007. – 180с.

46. Свинцовые (кислотные) аккумуляторы [Электронный ресурс] // URL: <http://www.studfiles.ru/dir/cat16/subj180/file14629/view142163.html> (дата обращения 23.03.2014).

47. Система электроснабжения. Методы и средства диагностирования систем электрооборудования автомобилей в эксплуатации. [Электронный ресурс] // URL: <http://bibliotekar.ru/auto-elektrooborudovanie/5.htm> (дата обращения 27.03.2014).

48. Типы автомобильных аккумуляторных батарей [Электронный ресурс] // URL: <http://www.autoopt.ru/articles/products/1919360/> (дата обращения 2.04.2014).

49. Характеристики аккумуляторных батарей [Электронный ресурс] // URL: http://knowledge.allbest.ru/physics/3c0b65625a2bd68a4c43b89521216d36_0.html (дата обращения 27.03.2014).

50. Хаскина С.М., Даниленко И.Ф. Математическое моделирование разрядных кривых химических источников тока / Сб. работ по химическим источникам тока. Л.: Энергия 1981.

51. Что происходит в аккумуляторе? [Электронный ресурс] // URL: <http://megabat-volga.ru/ustroistvo.html> (дата обращения 2.04.2014).

Приложения