

УДК 620.91

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

В.М. Пиксаев, Г.А. Малыженков, Д.В. Пьянзин
STUDY OF BATTERY CHARGE ALGORITHMS

V.M. Piksaev, G.A. Malyzhenkov, D.V. Pyanzin

В работе приведены результаты исследований различных алгоритмов заряда аккумуляторных батарей, на базе зарядного устройства, разработанного ПАО «Электровыпрямитель» (г. Саранск). Предложен адаптивный алгоритм заряда, позволяющий продлить ресурс аккумуляторных батарей, а также повысить безопасность их обслуживания.

Ключевые слова: аккумуляторная батарея, емкость аккумуляторной батареи, зарядное устройство, алгоритм заряда

Аккумуляторная батарея (АКБ) представляет собой химический источник тока, особенностью которого является обратимость внутренних химических процессов под действием приложенного напряжения, что обеспечивает её многократное циклическое использование для электропитания различных электротехнических устройств. В частности, аккумуляторные батареи являются необходимым элементом практически всех современных транспортных средств. Важнейшей задачей при эксплуатации АКБ является обеспечение их относительно быстрой зарядки при сохранении циклического ресурса. Решение данной задачи требует разработки специализированных алгоритмов зарядки АКБ и реализации их непосредственно в зарядных устройствах.

Рассмотрим наиболее распространенные алгоритмы заряда АКБ, реализуемые автомобильными зарядными устройствами [1]:

– профиль заряда по методу «I» (рис. 1);

The paper presents the results of research into various algorithms applied in charging storage batteries, based on a charger developed by JSC Electrovipryamitel (Saransk). An adaptive charging algorithm is proposed, which makes it possible to extend the service life of storage batteries, as well as to improve the safety of their maintenance.

Keywords: battery, battery capacity, charger, charging algorithm

– профиль заряда по методу «IU» (рис. 2);
– профиль заряда по методу «IUU» (рис. 3).

При заряде аккумуляторной батареи методом «I» ток заряда не меняется на протяжении всего времени заряда. Отключение происходит при достижении напряжения требуемого значения. Преимуществом данного способа является простота его реализации. Однако существенным недостатком такого способа является образование нерастворимых солей на электродах АКБ. При раннем прекращении заряда не вся поверхность электродов успевает завершить химические реакции. Не вступившие в реакцию участки становятся центрами кристаллизации, образуя нерастворимые соли в виде «комочков» на электродах. Попытки избежать этого, увеличив время заряда, приводит к увеличению температуры АКБ и образованию взрывоопасных газов (водород, кислород). Указанные недостатки существенно снижают ресурс АКБ.

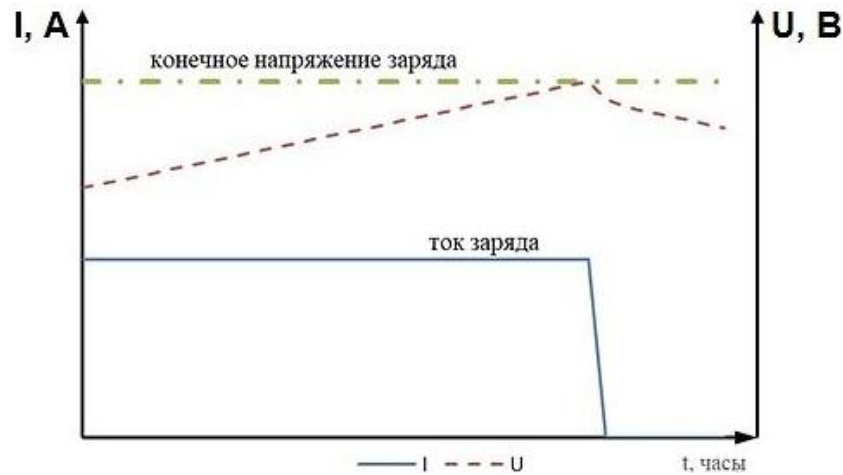


Рис. 1. Временные диаграммы к пояснению профиля заряда по методу «I»

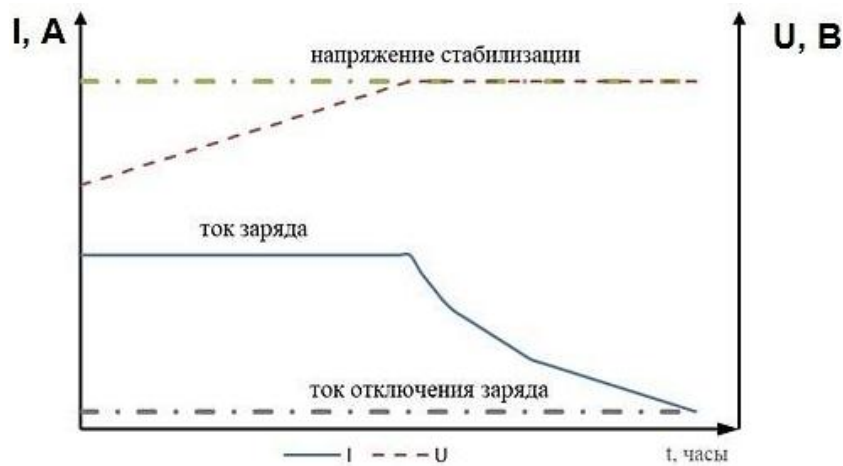


Рис. 2. Временные диаграммы к пояснению профиля заряда по методу «IU»

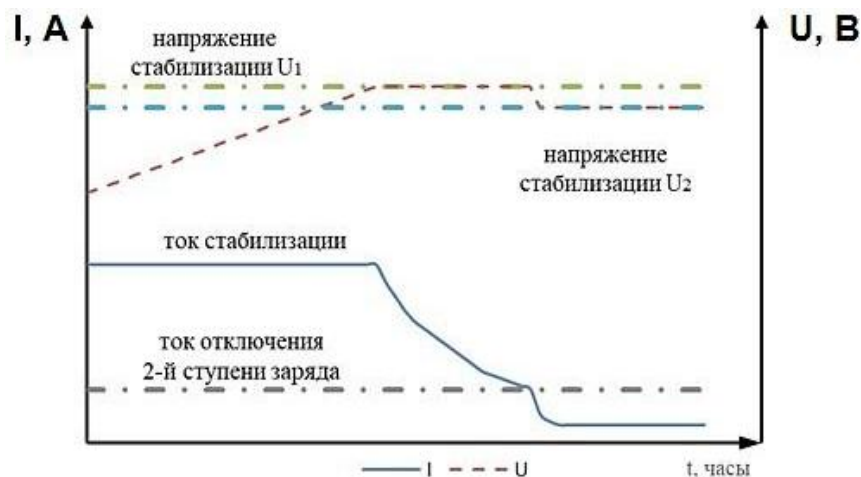


Рис. 3. Временные диаграммы к пояснению профиля заряда по методу «IUU»

Заряд АКБ методом «IU» включает в себя два этапа. На первом этапе батарея заряжается постоянным током до заданного значения напряжения стабилизации. На втором этапе происходит заряд уже посто-

янным напряжением при плавно уменьшающемся токе. Заряд прекращается при достижении током заданного порогового уровня. Применение данного способа позволяет практически исключить образова-

ние нерастворимых солей на электродах АКБ, так как при длительном поддержании постоянного напряжения все вещества успевают вступить в реакцию. Однако реализация данного метода требует поддержания напряжения выше точки газообразования, что также ведет к увеличению температуры и образованию взрывоопасных газов. В настоящее время метод «IU» является одним из самых применяемых алгоритмов, реализуемых в зарядных устройствах, благодаря хорошему соотношению скорости заряда к возможному количеству циклов заряда АКБ.

Профиль «IUU» является модификацией профиля «IU» и включает три этапа заряда. Первые два этапа заряда совпадают с ранее рассмотренными в профиле «IU». На третьем этапе осуществляется поддержание постоянного напряжения на АКБ путем компенсации тока саморазряда. В результате длительного заряда малым током АКБ будет существенно медленнее нагреваться, также уменьшится газообразование по сравнению с рассмотренными методами заряда. Данный способ заряда получил распространение там, где необходимо постоянно иметь заряженные аккумуляторы, к примеру, в системах жизнеобеспечения или хранения данных.

Помимо рассмотренных методов заряда постоянным током или напряжением, существуют также методы заряда АКБ импульсным током, которые позволяют повысить ресурсы аккумуляторных батарей [2, 3].

Для проведения исследования различных алгоритмов заряда АКБ использовалось разработанное на ПАО «Электровыпрямитель» зарядное устройство; свинцово-кислотная аккумуляторная батарея [4, 5] емкостью 60 А·ч.; персональный компьютер с установленным программным обеспечением *PowerGraph* для записи и хранения данных; АЦП Е-502 компании LCARD [6] для снятия значений тока и напряжения и передачи их на компьютер при помощи программы *PowerGraph*.

Были проведены исследования предложенных авторами комбинированного и комбинированного адаптивного алгоритмов заряда АКБ. Результаты работы данных алгоритмов сравнивались с методом «IU».

На рис. 4 приведены временные диаграммы заряда аккумулятора по профилю «IU». На первом этапе аккумулятор заряжается постоянным током до значения напряжения на АКБ равное 15 В. После этого начинает плавно уменьшаться ток, при заданном напряжении на АКБ. При превышении напряжения 14,4 В, в аккумуляторе начинается газообразование с активным выделением водорода и кислорода. Для оценки приобретенной аккумулятором емкости для всех исследуемых методов измеряется время, за которое разряжается аккумулятор, подключенный к постоянной известной нагрузке (рис. 5). Как видно из рис. 5, отданная емкость при данном способе разряда будет равна примерно 30 А·ч.

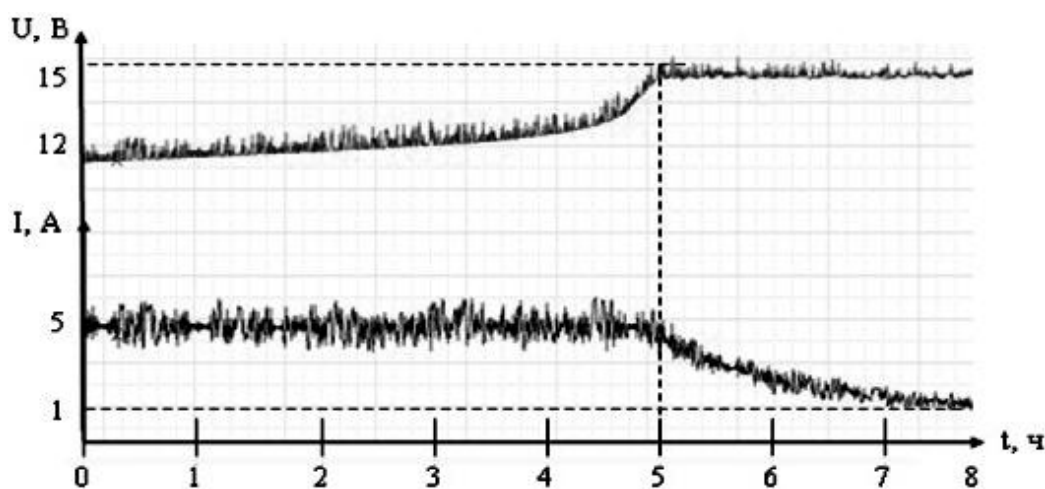


Рис. 4. Временные диаграммы заряда аккумулятора по профилю «IU»

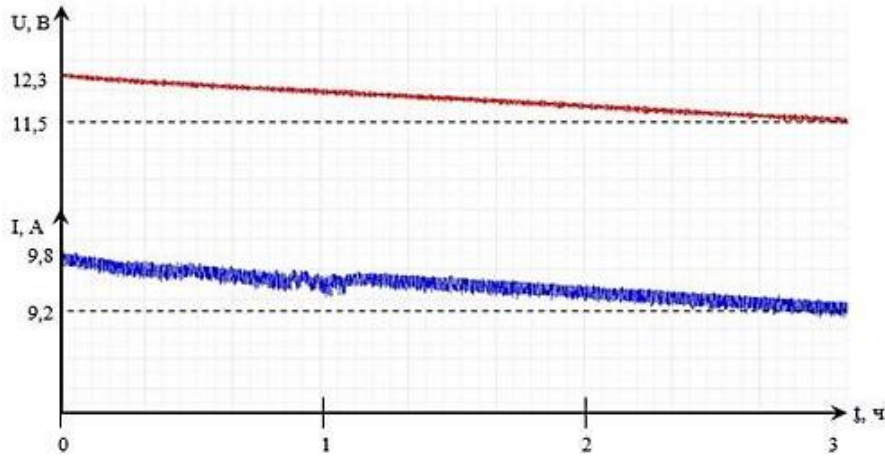


Рис. 5. Временные диаграммы разряда аккумулятора

Работу химического источника тока можно кратко описать, как преобразование материалов электродов, при потреблении тока, и обратное преобразование при отдаче тока. Во время заряда внутри аккумулятора существуют два электрических поля. Первое поле образовано зарядом, приложенным к электродам, второе поле образовано положительными и отрицательными ионами образованными в результате химических реакций. Напряженность полей направлена встречно друг другу, и для завершения преобразования ионам необходимо преодолеть силу первого поля [1].

Идея предложенного метода заряда состоит в манипулировании внутренними электрическими полями путем подачи импульсов зарядного тока с целью обеспечения беспрепятственного движения ионов внутри электролита. И таким образом, оптимизировать зарядные процессы, протекающие в аккумуляторе.

На рис. 6 приведены временные диаграммы заряда АКБ комбинированным методом. Данный алгоритм является комбинацией из заряда постоянным током (первая половина) и зарядом импульсным током. Переключение между ними выполняется в момент достижения напряжения на аккумуляторе равным 14,4 В. Заряд данным методом занимает свыше 9 часов, ближе к окончанию времени заряда наблюдается кипение электролита, но заметно меньше, чем при использовании профиля «IU». Отданная емкость при разряде составляет 25 А·ч. Исследования показали, что импульсы тока по-разному влияют на изменение напряжения АКБ в зависимости от уже накопленной емкости аккумулятора (рис. 7). Таким образом, учитывая, что свойства электролита меняются на протяжении заряда, необходим алгоритм заряда, который будет подстраиваться под эти процессы. Также во время заряда было замечено отсутствие активного газообразования.

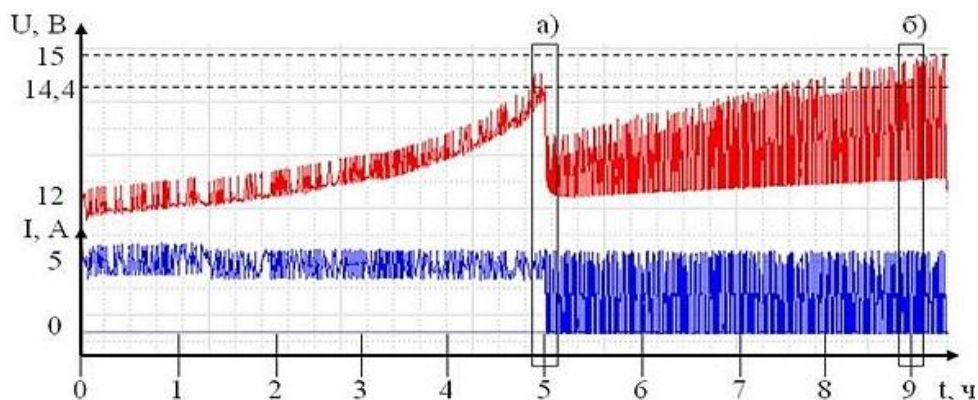


Рис. 6. Временные диаграммы заряда аккумулятора комбинированным методом

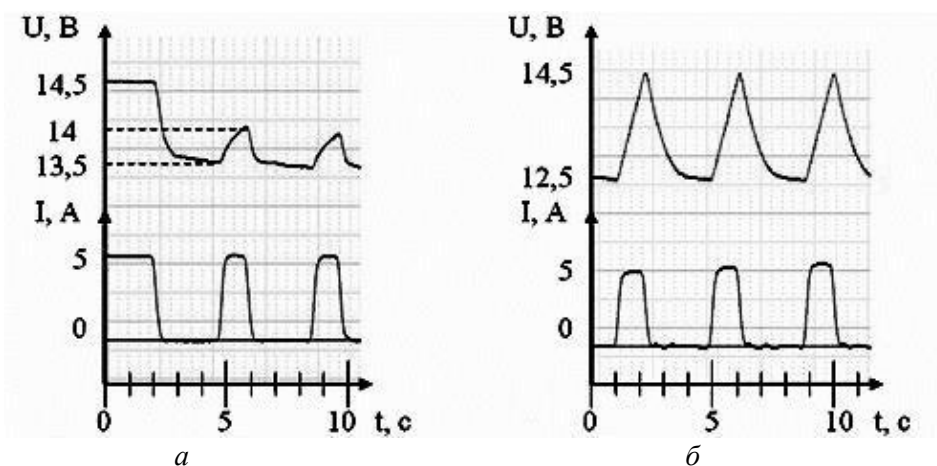


Рис. 7. Временные диаграммы заряда аккумулятора комбинированным методом в середине заряда (а) и в конце заряда (б)

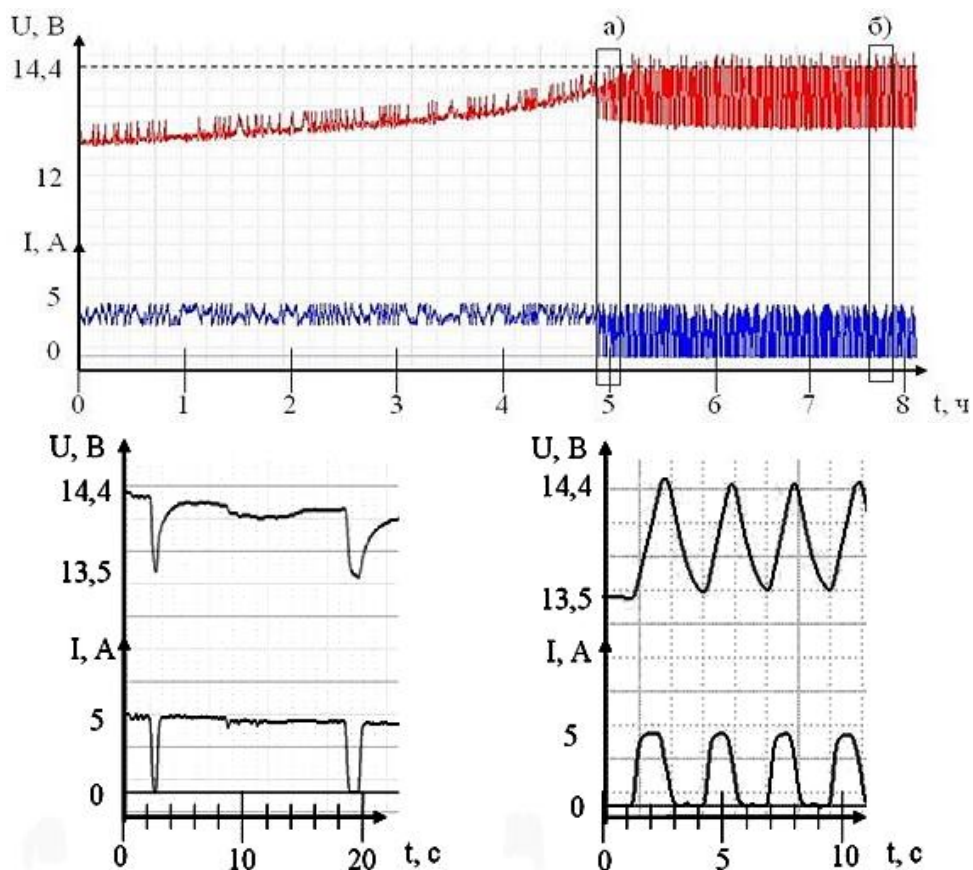


Рис. 8. Временные диаграммы заряда аккумулятора комбинированным адаптивным методом: в середине заряда (а) и в конце заряда (б)

На рис. 8 приведены временные диаграммы заряда АКБ адаптивным методом. Данный алгоритм предусматривает изменение длительности импульсов тока на протяжении всего времени заряда аккумулятора. При использовании данного метода удалось зарядить аккумулятор за то же

время, что и у профиля «IU», избежав при этом газообразования, при этом отданная емкость составила 30 А·ч.

По результатам заряда предложенным методом можно сделать вывод, что по скорости он близок к распространенному методу «IU», при этом не наблюдался его

главный недостаток – газообразование (кипения электролита).

Наличие возможности заряжать свинцовые аккумуляторы без необходимости обеспечивать «им особые условия» и без ущерба к скорости заряда позволяет снизить затраты на их обслуживание. К этим затратам относятся: организация помещения с активной вентиляцией для удаления

взрывоопасных газов; периодическая замена/долив электролита в аккумуляторы; организация безопасной работы персонала в условиях возможности контакта с опасными химическими веществами и опасности возгорания. Кроме того, обеспечение заряда без активного газообразования позволяет использовать данный способ для заряда необслуживаемых АКБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Хрусталеv Д.А.** Аккумуляторы / Д.А. Хрусталеv. М.: Изумруд, 2003. 224 с.

2. **Каменев Ю.Б.** Ускоренный метод заряда свинцово-кислотного аккумулятора. 1. Гальваностатический этап заряда / Ю.Б. Каменев, Г.А. Штомпель, Н.И. Чунц // Электрохимическая энергетика. 2012. Т. 12. № 2. С. 64-71.

3. **Каменев Ю.Б.** Ускоренный метод заряда свинцово-кислотного аккумулятора. 2. Гальваностатический заряд / Ю.Б. Каменев, Г.А. Штомпель, Ю.В. Скачков // Электрохимическая энергетика. 2013. Т. 13. № 2. С. 70-76.

4. **Агуф И.А.** Конструкция и условия эксплуатации герметичного свинцового аккумулятора / И.А. Агуф, М.А. Дасоян, Н.Ю. Лызлов. М.: Информэлектро, 1984. 174 с.

5. **Болотовский В.И.** Эксплуатация, обслуживание и ремонт свинцовых аккумуляторов / В.И. Болотовский, З.И. Вайсгант. Л.: Энергоатомиздат, 1988. 208 с.

6. Многофункциональный модуль АЦП / ЦАП с интерфейсами USB & Ethernet [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.lcard.ru/products/external/e-502> (дата обращения 22.10.2021).

Пиксаев Виталий Михайлович – начальник отдела микропроцессорных систем управления научно-инженерного центра ПАО «Электровыпрямитель»

Малыженков Георгий Александрович – инженер-конструктор отдела микропроцессорных систем управления научно-инженерного центра ПАО «Электровыпрямитель»

Пьянзин Денис Васильевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой радиотехники ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва»

Vitaly M. Piksaev – Manager: Division of Microprocessor Control Systems of the Scientific and Engineering Center, PJSC Electrovypryamitel

George A. Malyzhenkov – Engineer, Division of Microprocessor Control Systems of the Scientific and Engineering Center, PJSC Electrovypryamitel

Denis V. Pyanzin – PhD (Technical Sciences), Head: Department of Radio Engineering, National Research Mordovia State University

Статья поступила в редакцию 29.09.21, принята к опубликованию 12.11.21