

УДК 621.356

## ПРИЧИНЫ ПРЕЖДЕВРЕМЕННОГО СОКРАЩЕНИЯ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ И СПОСОБЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

**В.В. Данков, инженер., А.С. Паникарский, доцент, к.т.н., ХНАДУ**

***Аннотация:** В работе проведен всесторонний анализ и систематизация проблем, имеющих место при производстве и эксплуатации свинцово-кислотных аккумуляторных батарей (АКБ); изучены причины частых отказов и возможных аварийных ситуаций при кратком сроке их использования. Предложена методика проведения восстановительного обслуживания и диагностики аккумуляторных батарей, на основе которой создан ряд интеллектуальных зарядно-разрядных устройств (ИАЗРУ), эффективно увеличивающих ресурс надежной работы свинцово-кислотных аккумуляторов всех известных типов и номиналов.*

***Ключевые слова:** экологическая обстановка, аккумуляторная батарея, гибридный автомобиль.*

## ЧИННИКИ ПЕРЕДЧАСНОГО СКОРОЧЕННЯ СТРОКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СВИНЦЕВО-КИСЛОТНИХ АКУМУЛЯТОРІВ І СПОСОБИ ЇХ УСУНЕННЯ

**В.В. Данков, інженер, О.С. Панікарський, доцент, к.т.н., ХНАДУ**

***Анотація:** В роботі приведений всебічний аналіз і систематизація проблем, які мають наявність при виготовленні і використанні свинцево-кислотних акумуляторних батарей (АКБ), вивчені причини частих відмов і можливих аварійних ситуацій при короткому строку їх експлуатації. Запропонована методика проведення відновлюваного обслуговування і діагностики акумуляторних батарей, на основі якої створений ряд інтелектуальних зарядно-розрядних пристроїв (ІЗРП), ефективно збільшуючих ресурс надійної роботи свинцево-кислотних акумуляторів усіх відомих типів номіналів.*

***Ключові слова:** екологічне довкілля, акумуляторна батарея, гібридний автомобіль.*

## CAUSAL-INVESTIGATORY CHARACTER OF PROBLEMS IN THE AREA OF MANUFACTURING AND EXPLOITING THE LEAD-ACID STORAGE BATTERIES

**V. Dankov, engineer, A. Panikarski assistant professor, cand. eng. sc., KhNAHU**

***Abstract:** Comprehensive analysis and systematization of the problems existing under manufacturing and exploiting the storage batteries (SB) have been carried out; the causes of often failures and possible emergency situations under short terms of exploitation have been studied. The technique is represented for realizing the forming charge, reconstruction service and diagnostics of storage batteries; on the base of the technique, a series of intelligent charge-discharge devices (ICDD) has been created which effectively increase life time of reliable operation for lead-acid storages of all known types.*

***Keywords:** preservation of the environment, lead-acid battery, hybrid automobile.*

### Введение

Существующие широко известные и иные, предлагаемые к использованию, а также

вновь разрабатываемые различные системы и технологии изготовления химических источников тока (ХИТ), в настоящее время и в близком будущем не могут заменить свинцо-

во-кислотную аккумуляторную батарею (АКБ).

Ввиду использования в качестве сырья для изготовления активной массы материала из утилизированных АКБ, а также из-за широкого распространения герметизированных аккумуляторных блоков (АБл), образовалось множество проблем, вызывающих необходимость применения для их успешного преодоления интеллектуальных автоматических зарядно-разрядных устройств (ИАЗРУ). При этом, известные на современном уровне техники автоматические средства обслуживания АКБ, например, такие, как УТАБ в комплекте с зарядным устройством см. например, [1,2] позволяют довольно успешно преодолевать многие проблемы в области эксплуатации АКБ, однако для этого требуется постоянное присутствие и непосредственное участие в процессе обслуживания высококвалифицированного персонала.

В последнее время широко известна практика, когда без какого-либо организованного планово-предупредительного обслуживания, как стационарные, так и стартерные и тяговые АКБ на объектах их штатного использования эксплуатируют в течении 3-х лет, после чего эти АКБ просто утилизируют. При этом, нередко, имеют место факты, когда безвозвратный выход из строя АКБ (при установленном от завода-изготовителя их амортизационном ресурсе до 12 лет) наступает задолго до истечения первых 3-х лет их штатного использования.

Такое положение приводит к масштабным непредвиденным внеплановым затратам. В связи с этим актуальной задачей является установление причинно-следственного характера проблем в области изготовления и эксплуатации АБ и выработка методов их успешного преодоления.

### **Проблемы, имеющие место при изготовлении АКБ**

1. Использование в качестве сырья для изготовления активной массы продуктов переработки утилизированных свинцово-кислотных аккумуляторов не позволяет контролировать и регулировать содержание различных элементов-примесей, которые могут существенно и непредсказуемо изменять динамику процесса накопления и управляемой отдачи

накопленной электроэнергии в АКБ. Именно по этой причине, аккумуляторные блоки (АБл) одной партии выпуска, при прочих равных условиях, на практике могут иметь разброс их исходной отдаваемой ёмкости на уровне до 20% и более в долях номинальной ёмкости (Сн). Из практики работы известно, что формовочный и последующие заряды в процессе изготовления проводят при некотором массовом подключении изготавливаемых АБл к одному источнику тока заряда. При этом не обеспечена техническая возможность автоматического отслеживания динамики вольт-амперной зависимости каждого обслуживаемого аккумуляторного блока.

2. Разный уровень количества и качества выше упомянутых в п. 1.1. примесей может вызвать всплески интенсивности разогрева при далеко не одинаковых уровнях величин напряжения заряда и сообщённого количества электричества среди аккумуляторных блоков, собранных в одну группу для проведения формовочного заряда.

3. При таком положении крайне затруднительно соблюсти те температурные ограничения, которые предписаны действующими Инструкциями по проведению формовочного заряда [3, 5].

4. На завершающем этапе изготовления герметизированных АБ, особенно технологии dryfit, допускают значительный недозаряд. Таким образом поступают для того, чтобы предупредить возможность температурного разгона отдельных АБл и аварийное их повреждение на этапе изготовления.

5. Отсутствие возможности достижения на заводе-изготовителе максимально возможной полноты заряда всех аккумуляторов в составе новой АБ, делает невозможным проведение объективной оценки уровня величин технических характеристик каждого нового АБл.

6. Ввиду изложенного в п.п. 1.1...1.5, в составе новой аккумуляторной батареи, поставляемой заводом-изготовителем, весьма вероятным является разброс исходной отдаваемой ёмкости среди аккумуляторов в составе этой батареи на уровне 20% в долях Сн и более.

7. Кроме вышеуказанного п.п. 1.1... 1.5, в связи с тем, что заводы-изготовители поставляют заведомо недозаряженные АБл, а время их ввода в эксплуатацию на объекте использования абсолютно непрогнозируемо, интенсивность саморазряда аккумуляторов может существенно (в разы) отличаться от показателей, приведенных в их технической

документации [4-6]. Перечисленные основные проблемы, заложенные при изготовлении АБ, создают большие трудности уже на самых начальных этапах эксплуатации. На предприятиях массового использования АБ, как правило, отсутствует возможность высококачественного входного контроля и проведения заряда каждого нового АБл при обеспечении достижения стартовой максимально возможной полноты заряда каждого аккумулятора.

При этом завод-изготовитель, практически, не несёт ответственности за соблюдение гарантийных обязательств, так как при вводе в эксплуатацию, как правило, отсутствует техническая возможность полного соблюдения порядка действий, указанного в заводской Инструкции по эксплуатации данного типа-номинала АКБ.

Для успешного преодоления перечисленных проблем на заводе-изготовителе необходимо применять интеллектуальные зарядно-разрядные устройства (ИАЗРУ), в основе алгоритма которых использована методика проведения формовочного заряда, восстановительного обслуживания и диагностики АКБ (далее методика). Функциональные возможности таких ИАЗРУ обеспечивают полное автономное управление процессом заряда каждого из одновременно обслуживаемых АБл. При этом, с использованием ИАЗРУ автоматически обеспечивается:

- достижение максимально возможной полноты заряда каждого аккумулятора в составе обслуживаемых АБл;
- предупреждение всплесков интенсивности разогрева и загазованности аккумуляторов и, соответственно, предупреждение температурного разгона обслуживаемого АБл;
- предупреждение перезаряда;
- возможность оперативной сравнительной оценки однотипных АБл и возможность проведения их селективного отбора для комплектации в состав АБ.

### **Проблемы, существующие в области эксплуатации АКБ**

1. Отсутствие технической возможности достижения высокого уровня надёжности работы АКБ, поставляемых от завода-изготовителя в сухозаряженном состоянии и приводимых в рабочее состояние после их длительного хранения.

Согласно положениям Действующих нормативно-технических документов [6, 8] общий запас ресурса службы наливных АКБ распределён на: ресурс хранения в сухозаряженном состоянии; ресурс времени работы согласно штатному назначению.

По данным исследований [4, 7, 9] предел ресурса времени хранения в сухозаряженном состоянии (по истечении которого, при прочих равных условиях, данная АКБ ещё может быть приведена в рабочее состояние и надёжно штатно использоваться) зависит от ряда факторов. Определяющим фактором при этом является старение активной массы при деструктивных изменениях в её составе, например, возникновение агломеративных образований сульфата свинца в глубинном слое активной массы.

Из опыта работы, а также по данным исследований, проведенных в лабораториях химических источников тока (ЛХИТ) Днепропетровского и Курского аккумуляторных заводов [10] установлено, что одним из определяющих факторов, вызывающих интенсивное накопление вышеупомянутых деструктивных изменений, может быть повышенное содержание некоторых примесей в составе материала сырья, использованного для изготовления активной массы.

Вместе с тем, в последние 10...15 лет наблюдается тенденция к увеличению ресурса службы свинцово-кислотных нормативно-техническими документами [7].

На практике, часто имеют место случаи безвозвратных отказов на первом году эксплуатации АКБ, срок хранения которых в сухозаряженном состоянии не превышал допустимого соответствующими инструкциями по эксплуатации. Для предотвращения таких отказов необходимо иметь возможность выявлять наличие упомянутых выше деструктивных изменений активной массы АБ, вводимых в эксплуатацию.

Большую опасность представляют случаи взрывов новых АКБ, вводимых в эксплуатацию после длительного хранения в сухозаряженном состоянии. Известны также случаи взрывов стационарных, стартерных и тяговых наливных АБ, которые имели место при попытках заряда АБл, содержащих в их сос-

таве засульфатированные аккумуляторы.

Из опыта работы известно, что при заряде засульфатированной АКБ (что на начальном этапе заряда, как правило, проходит под воздействием силы тока заряда ( $I_z$ ) на уровне от 10% в долях номинальной ёмкости ( $C_n$ ) и более), отмечают высоко интенсивное газо-выделение и вспенивание электролита. А также, что, если такой заряд проводят после разряда АКБ при воздействии высокой плотности разрядного тока, то на начальном этапе заряда высока вероятность "бурного" взаимодействия пластин электродов с электролитом, что может сопровождаться подкорачиванием разноименных пластин электродов. Выделяющийся при этом водород может вызвать взрыв аккумулятора.

Косвенным свидетельством протекания описанных выше деструктивных процессов в активной массе АКБ является значительное снижение величины плотности электролита, фиксируемое через 2 часа после его заливки в аккумуляторы.

Строгое и точное соблюдение рекомендаций Действующих Инструкций по эксплуатации и положений иных нормативно-технических документов [6, 7] по поводу действий при работе с засульфатированными либо глубоко разряженными АКБ, даже при особо больших затратах времени, не гарантирует получение положительного результата.

Таким образом, для обеспечения возможности высококачественного и безаварийного приведения в рабочее состояние сухозаряженных АБ также необходимо использовать ИАЗРУ.

2. Отсутствие технической возможности обеспечения высокой надежности работы и предупреждения труднопредсказуемого досрочного безвозвратного выхода из строя АКБ из-за обильного образования труднорастворимых продуктов разряда, потерь влаги из состава электролита и оплывания активной массы.

Эти проблемы предлагаются к рассмотрению как единое целое. В отличие от положений Инструкций по эксплуатации АКБ, которые существовали в 70-80е годы XX века, когда использование в составе сырья для изготовления активной массы материала переработки утилизированных свинцово-кислотных

аккумуляторов допускалось в очень ограниченном количестве, в настоящее время, не менее, чем в 2 раза увеличен ресурс службы АБ без проведения их планово-предупредительного обслуживания. Одновременно с этим, отмечается системное увеличение функциональных нагрузок, что наиболее характерно для стационарных АКБ.

Различные варианты проектов задействования АКБ допускают возможность длительного воздействия особо низких плотностей тока разряда, что может приводить к обильному накоплению труднорастворимого сульфата свинца на самой нижней части пластин отрицательных электродов.

В ряде работ [6-8, 11] акцентировано внимание на то, что, если АКБ содержится длительное время под воздействием особо малой силы тока заряда, то высока вероятность разъедания материала нижней части несущих решёток пластин положительных электродов.

При циклировании АКБ допускают глубокие разряды, на начальном этапе которых могут иметь место особо высокие плотности разрядного тока. Из опыта работы и по данным исследователей [12] установлено, что при этом, в составе поверхностного слоя активной массы положительных электродов могут образовываться дендриты-продукты разряда, имеющие продолговатую форму (так называемые иголки сульфата свинца), обладающие очень слабой механической связью с основным составом материала активной массы. Будучи труднорастворимыми, такие продукты разряда не могут быть преобразованными в заряженную активную массу при воздействии традиционных способов заряда. При этом, при воздействии на глубоко разряженную АКБ в самом начале заряда высоких плотностей тока заряда (что общепринято, согласно существующим правилам функционирования средств обслуживания АКБ) под воздействием электромагнитного потока, создаваемого большой силой тока заряда, вышеупомянутые частицы сульфата свинца могут выкрашиваться из поверхности активной массы и оплывать в осадок, образуя шлам.

Установлено [3, 5], что при воздействии высоких плотностей тока разряда/заряда в полости корпуса жидкостного аккумулятора может происходить интенсивное перемешивание электролита, в чём также могут участ-

воват частицы вышеупомянутого шлама. Такое труднопредсказуемое перемещение продуктов износа в электролите может вызвать значительное дополнительное нарастание сопротивления течению тока заряда/разряда. При прочих равных условиях, это может привести к высокоинтенсивному изменению величины напряжения заряда/разряда. Из опыта работы установлено, что выход из строя АБ по причине накопления продуктов износа наступает тем раньше, чем больше время содержания аккумуляторов при низком уровне напряжения разряда и чем выше интенсивность снижения величины разрядного напряжения.

Так как в состав аккумуляторной батареи с самого начала наработки её ресурса службы весьма вероятно могут входить аккумуляторы с далеко не одинаковыми показателями величин их характеристик, то при выше изложенных условиях может иметь место дополнительное труднопредсказуемое интенсивное нарастание разбежности величин зарядного/разрядного напряжений среди аккумуляторов в составе АКБ.

Согласно положениям Действующих правил технической эксплуатации (ПТЭ) и иных нормативно-технических документов [6] для обеспечения поддержания высокого уровня заряженности необходимо проводить дозаряд.

Известно, что проведение дозаряда в строгом соответствии с предписаниями заводской Инструкции по эксплуатации [5] нередко приводит к дополнительному нарастанию разбежности величины зарядного напряжения среди аккумуляторов в составе АКБ. При этом, длительное содержание свинцово-кислотного аккумулятора при зарядном напряжении, величина которого превышает уровень электродвижущей силы более, чем на 0,15 В, из расчёта на каждый 2-х вольтовый элемент, приводит к созданию условий, вызывающих протекание 2-го этапа электролиза воды из состава электролита [13]. Это может приводить к быстрому накоплению газообразного водорода и стехиометрического кислорода.

При наличии таких условий процесса заряда отмечают значительные безвозвратные потери влаги из состава электролита герметизированных аккумуляторов, а также высокоин-

тенсивный электрокоррозионный износ несущих решеток пластин положительных электродов.

3. Отсутствие технической возможности устранения образовавшегося высокого уровня разбежности величин характеристик среди аккумуляторов в составе АКБ.

В условиях любого из известных производителей не представляется возможным обеспечить поставку для укомплектования новой АКБ аккумуляторных блоков с исходно одинаковыми величинами их технических характеристик.

По опыту работы и данным исследований [3] принято полагать, что разбежность величин характеристик аккумуляторов в составе АКБ необратимо нарастает с наработкой ресурса службы, что наиболее высокоинтенсивно происходит после наработки 60% от нормативно установленного амортизационного ресурса их работы согласно штатному назначению. На практике нередко, отмечают случаи, когда из-за образовавшегося высокого уровня разбежности величин характеристик аккумуляторов в составе АКБ, при наработке не более 25% нормативно-планового времени работы согласно штатному назначению, отдельные аккумуляторы заменяют на однотипные новые, неся при этом значительные внеплановые затраты.

### Цель работы

Разработка мероприятий по улучшению эксплуатационных свойств свинцовых аккумуляторов и продление срока их эксплуатации.

Одной из причин преждевременного выхода из строя аккумуляторов является образование трудно растворимых соединений на поверхности пластин или, как говорят в просторечии, «сульфатации».

Технология изготовления свинцовых аккумуляторов достигла в настоящее время определённого уровня совершенства. То пути повышения срока службы, как указано в работе [1], заключаются «в использовании внешних факторов, способствующих повышению проницаемости сульфатных плёнок и улучшению конвективно-диффузионных условий в порах активных масс». Обзор существующих решений проблемы.

## Обзор существующих решений проблем

Инструкции по эксплуатации свинцово-кислотных аккумуляторов рекомендуют проводить каждые полгода профилактический цикл разряд-заряд. [7] Разряд-заряд производят током 20-часового полуцикла, т.е.  $0,05 C$ , где  $C$  – емкость аккумулятора при 20-часовом разряде. Известны различные способы ступенчатого восстановительного цикла [8,14]. Сообщается о разработке интеллектуального зарядно-восстановительного устройства, в котором используется ступенчатый разряд и ступенчатый заряд в режиме стабилизированного напряжения по эмпирической программе. [15].

### Предлагаемые решения вышеизложенных проблем

Преодоление большинства перечисленных проблем, возникающих как при производстве, так и в эксплуатации аккумуляторов различных типов может быть достигнуто в результате регулярного использования интеллектуальных автоматических зарядно-разрядных устройств (ИАЗРУ), например таких, какие были применены при проведении опытных исследований в лаборатории кафедры «Автомобильная электроника» ХНАДУ [15, 16].

В основу алгоритма работы ИАЗРУ положена специальная методика, основным отличительным признаком которой является использование импульсного ступенчатого изменения величины силы тока заряда и разряда с алгоритмично заданной скважностью.

Функциональные возможности и технико-экономическое обоснование целесообразности использования интеллектуальных автоматических зарядно-разрядных устройств (ИАЗРУ), в основе алгоритма работы которых использована разработанная инженером-изобретателем Данковым В.В. Методика проведения быстрого заряда, повседневного заряда, формовочного заряда, восстановительного обслуживания и диагностики свинцово-кислотных аккумуляторных батарей (АБ).

1. Основа Методики Данкова В.В. запатентованы на Украине в 1997 году. [16, 17].
2. Конструктивно каждый блок ИАЗРУ содержит от одного до шести автономных кана-

лов, имеющих общий «минусовый» вывод. Поэтому одновременно к одному блоку можно подключать 12-ти вольтовые аккумуляторные блоки (АБл) одного типоминимала при их номинальной емкости ( $C_n$ ) от 4 до 250 Ампер-часов. Уровень верхнего/нижнего предела  $C_n$  зависит от данного типа ИАЗРУ.

3. При использовании ИАЗРУ представляется возможным проведение:

- Разряда АБл при поддержании величины силы тока разряда, заданной оператором. После завершения такого разряда, согласно алгоритма работы ИАЗРУ автоматически выполняется переход к проведению восстановительного заряда. Для проведения такого разряда оператор запускает выбранный им соответствующий режим.

- Восстановительного заряда. При этом заряде многоступенчато импульсно изменяется величина напряжения заряда, что происходит с программно заданной скважностью и при заданном токоограничении. После завершения восстановительного заряда происходит автоматическое завершение выполнения цикла обслуживания.

- Двухступенчатого профилактического разряда. При этом разряде на 1й ступени сила тока от 0,02 до 0,025 в долях  $C_n$ . На 2й ступени сила тока разряда не превышает уровня 0,5  $C_n$ . Переход с 1й ступени на 2ю происходит автоматически согласно заданной программе. При этом после завершения 2-х ступенчатого разряда автоматически выполняется переход к проведению восстановительного заряда.

4. Один цикл восстановительного обслуживания (ВО) содержит:

- двухступенчатый профилактический разряд. По данным ведущих ученых последователей Ленинградского НИИ «СТА» при подобном порядке проведения разряда создаются условия для зарождения на всю глубину активной массы относительно крупнозернистого рыхлопористого сульфата свинца. Такой продукт разряда при последующем восстановительном заряде преобразуется в активную массу, устойчивую от оплывания.

- восстановительный заряд. По данным ведущих ученых исследователей Центра научных исследований фирмы «Varta-block» при подобном порядке проведения заряда (который проходит при предупреждении интенсивного проявления побочных эффектов и при максимально возможно высоком коэффициенте использования тока заряда) создаются условия для:

а) зарождения в составе активной массы большего количества зерен тетрагональной формы ( $\beta$  PbO<sub>2</sub>). В отличие от зерен ромбической формы ( $\alpha$  PbO<sub>2</sub>), зерна ( $\beta$  PbO<sub>2</sub>) обладают значительно большей боковой поверхностью. За счет этого намного больше частиц электролита одновременно могут вступать в токообразующую реакцию. При этом также намного меньше нарастает разбежность величины напряжения разряда среди аккумуляторов в составе АБл.

б) достижения максимально возможной полноты заряда всех аккумуляторов (2х вольтовых элементов) в составе обслуживаемого АБл без проявления побочных эффектов, которые, как правило, имеются при перезаряде;

в) достижения высокого уровня равномерности работоспособности аккумуляторов в составе обслуживаемого АБл;

г) достижения максимально возможного (для данного состояния, обслуживаемого АБл) уровня объемной пористости.

При проведении восстановительного обслуживания по методике Данкова В.В., в сравнении с лучшими известными способами и методиками обслуживания химических источников тока (ХИТ), при прочих равных условиях, отдаваемая емкость АБл увеличивается не менее, чем на 25% в долях Снм.

– диагностика:

а) Диагностика выполняется по ходу проведения восстановительного заряда. В алгоритмично заданном порядке выполняется проверка на предмет наличия:

- повреждения пластин сепарации; пластин электродов. - подкорачивания

б) В случае определения наличия хотя бы одной из выше названных неисправностей, автоматически (без какого-либо участия оператора) происходит аварийная остановка выполняемого этапа восстановительного обслуживания. При этом данный АБл отбраковывается и подлежит замене на однотипный исправный.

Диагностика выполняется путем проведения контрольного разряда по режиму, выбранному оператором.

Данные вольтамперной и ампер-часовой характеристики каждого выполняемого этапа процесса обслуживания в текущем порядке отображаются на дисплее ЖКИ, а также заносятся в энергонезависимую память процессора ИАЗРУ. На основании этих данных обеспечивается возможность высокообъективного определения уровня величины отдаваемой

емкости. По этим данным также может быть проведена высоко точная сравнительная оценка уровня качества однотипных АБл.

Данные диагностики через USB порт могут быть перенесены в электронную память компьютера. При этом предоставляется возможным получение информации, позволяющей прогнозировать и проводить плановое своевременное обслуживание АБл.

В дополнение к выше изложенному, при этом обеспечивается возможность проведения удалённого мониторинга за ходом процесса обслуживания каждого АБл в составе парка аккумуляторного хозяйства данного предприятия. Такая функциональная возможность достигается за счет применения (дополнительной установки) системы GSM-modem. Этот удаленный мониторинг может быть осуществлен на любом расстоянии, обеспеченном устойчивым функционированием средств связи данного региона.

Кроме того при использовании ИАЗРУ представляется возможным проводить:

– быстрый заряд. Время - до 3 часов. Такой заряд наиболее эффективен при разряде АБ не более чем на 30% в долях Сн.

– повседневный заряд. Время - до 12 часов. Такой заряд наиболее эффективен при разряде АБ не более, чем на 50% в долях Сн. При этом, в зависимости от достигнутого уровня напряжения заряда соблюдается программно заданное токоограничение. По показателям вольт-амперной характеристики этого заряда определяют наличие потребности в проведении восстановительного обслуживания данного АБл.

В отличие от всех известных способов обслуживания АКБ, при этом достигается возможность поддержания высокого уровня полноты заряда всех АБл в составе АКБ при предупреждении перезаряда какого-либо аккумулятора.

Созданные на основе этой методики АЗРУ типа "БЗВМ-2/3-12" (далее БЗВМ) успешно прошли эксплуатационные испытания и эффективно используются на ряде предприятий связи и энергетики. В основе конструктива АЗРУ БЗВМ использован широкодиапазонно регулируемый стабилизатор величины напряжения заряда. Фотография внешнего вида приведена на рис. 1.



Рис. 1. Автоматическое зарядно-разрядное устройство БЗМ-2/3-12

В 2015г. завершена разработка и проведены успешные испытания ИАЗРУ типа "Vector-KD-1/12-2...140" и "Vector-KD-2/12-2...180" с использованием широкодиапазонного регулируемого стабилизатора зарядного тока (рис.2), типовой график процесса заряда представлен на рис.3.



Рис. 2. Интеллектуальное автоматическое зарядно-разрядное устройство Vector KD

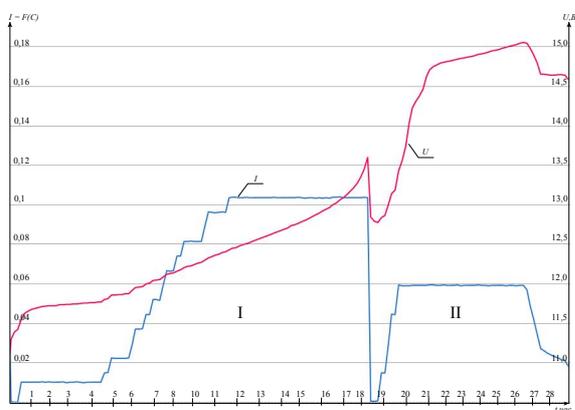


Рис.3. График зарядного участка ИАЗРУ:  
I-восстановительная часть цикла%;  
II-выравнивающая часть цикла

### Экспериментальное исследование восстановительных циклов на потребительские свойства аккумуляторов

Для эксперимента взяли произвольных 10 свинцово-кислотных гелиевых аккумуляторов производства Харьковского завода «Владар» емкостью 50 А-час и напряжением 12 В, и возрастом 7 лет.

Вначале аккумуляторы эксплуатировались на гибридном автомобиле «Таврия» разработки кафедры «Автомобильная электроника» ХНАДУ. В результате экстремальных разрядов до низкого напряжения ряд аккумуляторов потерял емкость, и вся батарея была снята с эксплуатации.

Затем часть аккумуляторов использовалась, как пусковые для автомобилей «Хюндай-Акцент» и «Тойота Приус», другая часть держалась на хранении с подзарядкой один раз в год. А третья часть из наиболее слабых два года не заряжалась. Диагностика состояния осуществлялась по трём параметрам: Э.Д.С., внутреннее сопротивление и ёмкость при разряде током 0,1 С.

Для сравнения различных методов восстановления: ступенчатым током и классическим методом с током 0,05 С, одна часть аккумуляторов разряжалась и заряжалась одним методом, а часть – другим.

Разряд и заряд ступенчатым током осуществлялся начиная от тока 0,007С и заканчивался током 0,07 С по алгоритму, разработанному инженером Данковым В.В., в конце цикла следовал выравнивающий заряд при стабилизированном напряжении 14,4 В с последующим снижением напряжения до 14,2 В.

В классическом методе также присутствовал выравнивающий заряд при стабилизированном напряжении 15 В, когда ток снижался до значения менее 0,05 С.

Перед восстановительным циклом все аккумуляторы пытались подзарядить до Э.Д.С. не менее 12,6 В ежедневным зарядом. Э.Д.С. контролировалась после устранения напряжения поляризации подключением нагрузки с током 200 А на 5 с, а затем проводились замеры Э.Д.С.

Часть аккумуляторов заряд не восприняли.

Это те аккумуляторы, которые не заряжались 2 года. У них была исходная Э.Д.С.  $9,5 \div 10,5$  В.

Следует заметить, что аккумуляторы в своем большинстве имели повышенное внутреннее сопротивление, относительно характерного сопротивления аккумуляторов данного типоразмера.

Ориентировочно мы определили максимально допустимое внутреннее сопротивление как:

$$R_0 = \frac{E - U_{\min}}{I_{\max}} = \frac{12,5 - 7,5}{500} = 0,01 \text{ Ом},$$

где  $E$  – Э.Д.С. = 12,5 В;  $U_{\min}$  – минимальное напряжение на стартере, 7,5 В;  $I_{\max}$  – максимальный пусковой ток 500 А.

Испытания проводились с целью достижения внутреннего сопротивления 0,01 Ом, достаточного для пусковых характеристик данного типоразмера. Измерение емкости осуществлялось током 0,1 С с целью уменьшить влияние такого разряда на процесс восстановления.

Проанализируем полученные результаты:

– Аккумуляторы № 1, 2, 4, 7, 9, 10 имели исходную Э.Д.С.  $12,4 \div 12,7$  В;

– Аккумуляторы № 3, 5, 6, 8 хранились в разряженном состоянии и имели Э.Д.С.  $8 \div 10,5$  В. Все аккумуляторы подверглись рабочему заряду стабилизированным током не более 0,1 С до достижения напряжения 15 В;

– Аккумуляторы № 3, 5, 6, 8 имели повышенную утечку и восстановлению не подлежали. Из всех аккумуляторов ни один не был пригоден для зимней эксплуатации ввиду большого внутреннего сопротивления и не мог обеспечить ток холодной прокрутки;

– Аккумуляторы № 1, 4, 7 могли обеспечить летнюю эксплуатацию автомобиля. Аккумуляторы № 2, 9, 10 были сильно сульфатированы и не пригодны к эксплуатации. Аккумуляторы № 1, 2, 9, 10 были подвергнуты классическому способу восстановления током разряда 0,05 С до напряжения 10,8 В и зарядом током 0,05 С до напряжения 15 В. Аккумулятор № 2 быстро достиг напряжения 15 В, не набрав ёмкости. Было решено осуществить на нём ступенчатый цикл.

В результате проведенных восстановитель-

ных циклов 3 аккумулятора стали пригодными для зимней эксплуатации (№1,4,10).

### Анализ результатов

Из приведенной выше таблицы видно, что ступенчатый метод лучше справляется с растворением труднорастворимых соединений свинца («сульфатацией») (акк. № 2). Для аккумуляторов с неизношенной активной массой он позволяет достичь исходного заводского значения внутреннего сопротивления (акк. № 4). Для аккумуляторов, подвергшихся значительной эксплуатационной нагрузкой он позволяет вернуть мелкозернистую пористую структуру и повысить емкость (акк. № 7).

Кроме того, в эксплуатационном устройстве со ступенчатым восстановительным циклом предусмотрен выравнивающий заряд при напряжении 14,2 В несколько часов.

Это исключает обильное газовыделение и обеспечивает стабильные характеристики электролита, а также взрывобезопасность.

В классическом методе выравнивающий заряд осуществляется достижением зарядного напряжения  $14,8 \div 15$  В. В случае несвоевременного выключения это грозит обильным газовыделением и вздутием аккумулятора.

Авторы не претендуют на количественную оценку двух методов, т.к. она зависит от многих факторов: исходного сырья электродов, количества циклов заряд-разряд, глубины разряда, температуры эксплуатации, условий хранения и др.

### Выводы

Восстановлению подлежат аккумуляторы, которые хранились заряженными независимо от их состояния работоспособности.

Критерием необходимости проведения восстановительного цикла является не временной интервал (раз в полгода или раз в три месяца), а увеличение внутреннего сопротивления аккумулятора выше допустимого (смотри формулу выше).

Контроль внутреннего сопротивления производить не реже, чем раз в три месяца или при проявлении ухудшения пусковых характеристик (напряжение на стартере в момент пуска

меньше 7,5 В) и при уменьшении величины пробега электротранспорта.

Для восстановления сильно «сульфатированных» батарей предпочтительно использовать ступенчатый метод.

Выполнение изложенных выше пунктов позволит продлить срок эксплуатации аккумуляторных батарей в  $1,5 \div 2$  раза.

### Литература

1. Устройство тестирования аккумуляторных батарей УТАБ 12-60/20. ААБХ.436247 004-02РЭ 2013 г. ООО НПМП «Связьэнергосервис».
2. Устройство заряднопитающее ТУ У31.1-304429890-003. УЗПС-20. 2013г. ООО НПМП «Связьэнергосервис».
3. Дасоян М.А. и Агуф И.А. «Современная теория свинцового аккумулятора». Л. Энергия. 1975.
4. Милютин Н.Н., Ожиганова Н.Н. Электрохимическое поведение Рb в сернокислых растворах. – Журнал прикладной химии, 1970, т.43 №8.
5. Эксплуатационная документация. Стационарные свинцово-кислотные герметизированные необслуживаемые аккумуляторы: технология dlyfit: Sonnenshein A400, A500; технология AGM: Powerfit ( S 300, S 500) EXIDE, TECHNOLOGIES, INDUSTRIAL ENERGI.
6. ГНД 34.50.501-2003 Міністерство палива та енергетики України. Галузевий нормативний документ. Експлуатація стаціонарних свинцево-кислотних акумуляторних батарей. Типова інструкція. Київ. Об'єднання енергетичних підприємств «Галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики», 2004.
7. Батареи аккумуляторные свинцовые стартерные 6 СТЭН-140М, 6СБ-140Р, 12СТ-70М и 12СТ-70. Инструкция по эксплуатации ФЮ3.553.011 ИЭ.
8. В.Н. Варыпаев, М.А. Дасоян, В.А. Никольский «Химические источники тока», М., «Высшая школа».
9. Агуф И.А. Некоторые вопросы теории пористого электрода и процессы, протекающие в свинцовом аккумуляторе. Сборник работ по химическим источникам тока. Выпуск 3, Л. «Энергия», 1968.
10. Данков В.В. Експлуатація акумуляторних батарей: проблеми і шляхи їх розв'язання. Журнал «Електроінформ» № 4- 2005.
11. Кислотные аккумуляторные батареи для горнодобывающей отрасли, энергетики, предприятий связи, железной дороги, транспорта. Электронные системы зарядки и электропривода. www.energia.org.ua. НПП «Энергия». Донецк. Украина
12. Бессонова Т.М., Большакова Н.В., Животинский Л.Б. Изменение структуры пористых пластин свинцового аккумулятора при работе. Сборник работ по химическим источникам тока. Выпуск 6. Л. «Энергия». 1971.
13. Дитрих Берндт. А/о «Варта Баттери» Научно-исследовательский центр. Доклад. Информационные дни в Эрланге 15 марта 1993 г., тема «Конструкторский уровень и технические границы применения герметичных батарей. Сравнение герметичных и герметизированных батарей». Наука и техника, 1998.
14. Бажинов А.В., Паникарский А.С., Данков В.В., Черных А.И., Дылев С.И. Восстановление свинцовых автомобильных аккумуляторов тренировочным циклированием разряд-заряд. // Электронный ресурс // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне фахове видання. – Х.: ХНАДУ, 2013. - № 2 (5). – ISSN № 21226-9266
15. Паникарский А.С., Данков В.В., Сладких С.А., Кучерявая М.А., Куликов А.И. Исследование влияния восстановительных циклов на эксплуатационные параметры гелиевых свинцово-кислотных аккумуляторов.
16. Данков В.В. Патент Держпатенту України на винахід НО1М 10/44 №18026А від 17.06.97 «Спосіб відновлювального обслуговування акумулятора у складі батареї».
17. В.В. Патент Держпатенту України на винахід НО1М 10/44 №18025А від 17.06.97 «Спосіб визначення стану кислотного свинцевого акумулятора у складі батареї».

Рецензент: А.В. Бажинов, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 12 ноября 2015 г.