

НИУ «Высшая школа экономики»
Российская Академия Наук
Московская школа управления СКОЛКОВО
Фонд «Сколково»

Материалы IV Международного Конгресса
«Возобновляемая энергетика XXI век:
энергетическая и экономическая эффективность»
5–6 июня 2018, Сколково, Россия



REENCON-XXI

Proceedings of the IV International Congress
Renewable Energy – XXI Century:
Energy & Economic Efficiency
5–6 June, 2018, Skolkovo, Russia

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКТОВАНИЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ
БАТАРЕЙ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ВИЭ ДЛЯ УДАЛЁННЫХ И
ТРУДНОДОСТУПНЫХ ОБЪЕКТОВ**

**AUTOMATION OF BATTERY ASSEMBLY TECHNOLOGY AS A METHOD OF
INCREASING EFFICIENCY OF RENEWABLE SOURCES OF ENERGY FOR REMOTE
AND HARD-TO-ACCESS OBJECTS**

Антонова М.А., Жилейкина К.О., Птицын М.В.
ООО «Научно-технологический центр «АНК», Санкт-Петербург, Россия

Antonova M.A., Zhileykina K.O., Ptitsyn M.V.
LLC «Scientific and Technological Center "ANK", St. Petersburg, Russia

ankzhileykina@gmail.com

Использование энергоустановок на основе ВИЭ создает реальную возможность улучшения технико-экономических показателей локальных систем электроснабжения удаленных и труднодоступных районов страны. Одно из основных решений практической реализации этих возможностей – производство и применение в составе автономных энергоустановок накопителей электроэнергии, отвечающих требованиям безуходности, безопасности и экономичности в процессе эксплуатации в течение длительного срока службы. Эффективным технологическим решением этой задачи может являться тщательный подбор электрических аккумуляторов в батареи в процессе производства накопителей энергии (АКБ). Разработанная ООО «НТЦ «АНК» автоматизированная технология комплектования АКБ позволяет осуществлять подбор отдельных элементов (аккумуляторов) с любой степенью идентичности исходных параметров. Применяемые в процессе комплектования АКБ методики тестирования аккумуляторов дают возможность еще на стадии производства АКБ прогнозировать их поведение в процессе эксплуатации, выявлять тенденции к деградиационным процессам и проявления скрытых внутренних дефектов. Осуществление предлагаемого подхода к созданию накопителей электроэнергии позволит при незначительном повышении начальных затрат на производство АКБ существенно снизить трудозатраты и финансовые ресурсы, расходуемые в процессе всего срока эксплуатации энергоустановок.

To date, the using of renewable-energy power plants provide a real opportunity to improve the technical and economic indicators of local power supply systems in remote and hard-to-reach areas of the country. Production and use of power storage units that meet the requirements of maintenance, safety and economy during its lifetime in autonomous power plants in this regard become most effective from the point of view of practical implementation. With the significant progress of supplies for technical accumulation an important technological solution is the high quality selection of electric accumulators in batteries during the production of energy storage devices (batteries). Developed by the Scientific and Technological Center «ANK» automated battery assembly technology allows to select individual elements (accumulators) with any degree of identity of the initial parameters. The battery testing methods used in the assembly process make possible to predict their behavior in the operation even at the production stage of the battery, to identify trends in degradation processes and hidden internal defects. This proposed approach to the creation of power storage units is a cost-effective since, along with significant production costs, it will substantially reduce labor and depreciation during the lifetime of power plants.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, автономная электростанция, накопители электроэнергии, аккумуляторные батареи, технология комплектования батарей

Keywords: renewable energy sources, autonomous power station, power storage unites, rechargeable batteries, battery assembly technology

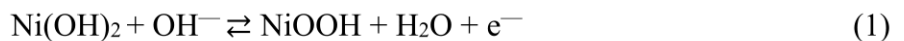
В настоящее время экологические проблемы и ограниченность запасов углеводородного топлива вынуждают искать новые виды энергоресурсов и, соответственно, новые технологии энергообеспечения потребителей. Особенно остры проблемы электроснабжения удалённых и труднодоступных зон, где стоимость электроэнергии многократно превышает действующие централизованные тарифы [1]. Это обусловлено, высокой стоимостью топлива, необходимостью проведения частых ремонтных работ, ограниченностью работы

традиционных электростанций по времени, длительностью транспортировки топлива, ограниченностью сроков сезонного завоза и многозвенностью схемы поставок [2].

Использование энергоустановок, преобразующих и аккумулирующих энергию солнца, ветра, воды (возобновляемых источников энергии - ВИЭ) создают реальную возможность улучшения технико-экономических показателей локальных систем электроснабжения. Опыт российских и зарубежных исследовательских групп показывает, что комбинированное применение ВИЭ и накопителей энергии в автономной системе электроснабжения является экономически эффективным способом энергообеспечения потребителей [3]. Это обусловило прогресс аккумуляторной батареи, который сделал их более компактными, безопасными, надежными и коммерчески доступными [4]. Как следствие актуальным направлением в развитии автономной электроэнергетики становится подбор адекватного технического средства аккумулирования с длительным сроком службы, отвечающего, в первую очередь, требованию безуходности, позволяющей не производить обслуживание аккумуляторных батарей в течение длительного периода времени, снижая трудовые и материальные затраты при эксплуатации энергоустановки.

Основные принципы обеспечения безуходности, применимые для большинства аккумуляторных батарей, как щелочных, так и кислотных, с водными электролитами можно рассмотреть на примере никель-кадмиевой (НК) электрохимической системы.

Основной токообразующий процесс, протекающий на положительном оксидно-никелевом электроде в цикле заряда-разряда аккумулятора, соответствует реакции:



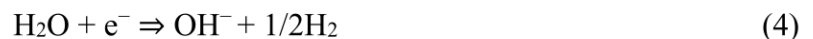
В то же время на отрицательном электроде протекает электрохимическая реакция:



При достижении степени заряженности аккумулятора более 50% на положительном электроде параллельно с основной реакцией начинается побочный процесс выделения кислорода, на который тратится часть энергии, направляемой на заряд АКБ.



При достижении 100% заряженности активной массы отрицательного электрода на его поверхности происходит выделение газообразного водорода:



При выборе типа химического источника тока (ХИТ) для накопителей энергии, используемых в энергоустановках на основе ВИЭ важно учитывать как техническую часть: эксплуатационные характеристики и конструктивные особенности аккумуляторных батарей, так и экономическую составляющую: производственные затраты и амортизационные отчисления. При этом необходимо рассматривать не только начальные затраты на приобретение батареи, но и общие затраты за весь период эксплуатации энергоустановок. Наиболее экономически эффективным вариантом с точки зрения начальных затрат является конструкция аккумулятора, предусматривающая эквивалентное содержание положительной и отрицательной электродных масс, определяющих емкость аккумулятора. Однако, такой тип ХИТ, помимо необходимости дополнительных затрат электроэнергии при заряде аккумулятора, не предусматривает возможности его безуходности. Для снятия полной емкости требуется перезаряд аккумулятора, в ходе которого происходит разложение электролита с выделением, как кислорода, так и водорода (Рис.1а), потерю которого необходимо периодически восполнять в ходе технического обслуживания АКБ.

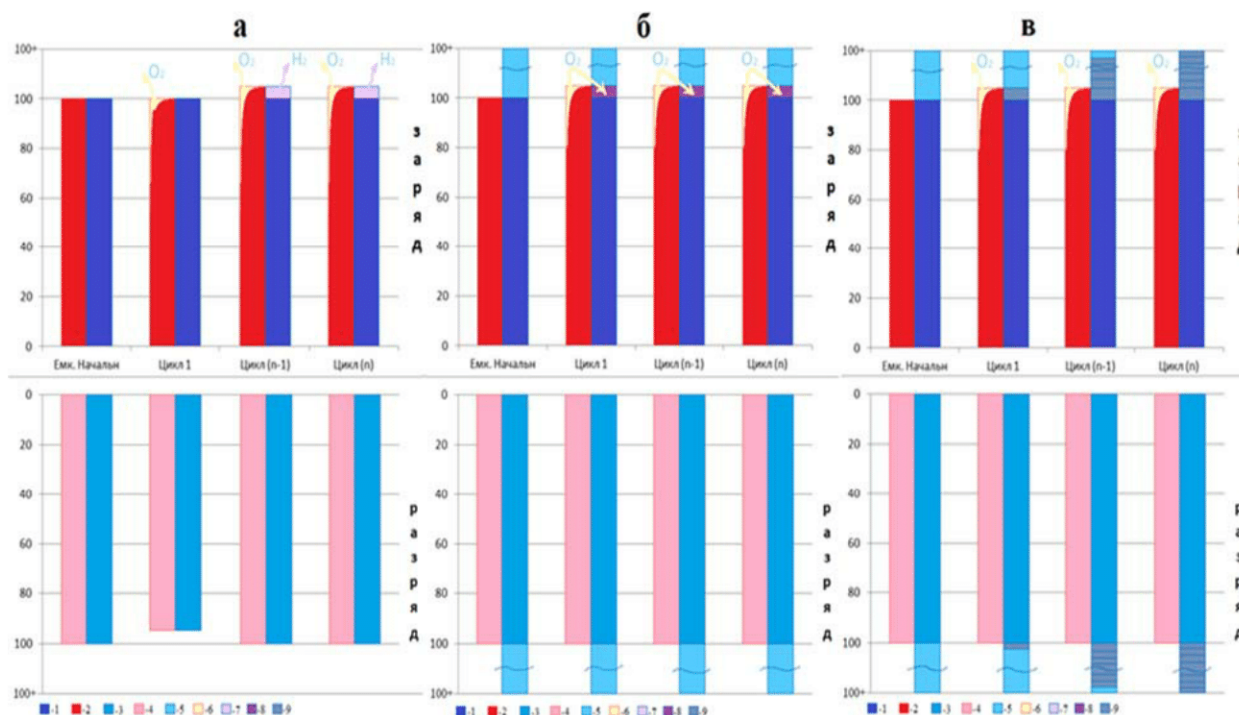
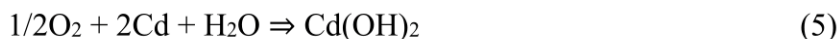


Рисунок 1 Диаграммы баланса электродных реакций в никель-кадмиевом аккумуляторе.

Расшифровка цветовых обозначений: 1 – зарядная емкость отрицательного электрода; 2 – зарядная емкость положительного электрода; 3 - разрядная емкость отрицательного электрода; 4 - разрядная емкость положительного электрода; 5 – запас разряженной активной массы отрицательного электрода; 6 – зарядная емкость положительного электрода, затраченная на выделение кислорода; 7 – зарядная емкость отрицательного электрода, затраченная на выделение водорода; 8 – зарядная емкость отрицательного электрода, затраченная на поглощение выделившегося кислорода; 9 – остаточное количество заряженной активной массы отрицательного электрода.

Для решения задачи безуходности в конструкции аккумулятора закладывается 20-30 % избытка емкости отрицательной активной массы по отношению к положительной. Этот принцип используется для создания герметизированных аккумуляторов в которых выделяющийся на положительном электроде кислород вступает в химическую реакцию с восстановленной (заряженной) активной массой отрицательного электрода:



На отрицательном электроде водород не выделяется до момента полного заряда отрицательной электродной массы, который в установленных производителем режимах заряда аккумулятора (уровня перезаряда) не достигается (Рис. 1б).

Такая модель при соблюдении штатных режимов эксплуатации с контролируемым уровнем перезаряда исключает возможность потери электролита, вызванную процессом выделения газов из аккумулятора, и соответственно необходимость обслуживания батареи в ходе ее длительной эксплуатации.

Однако выделяющийся на положительном электроде кислород также может взаимодействовать с углеродосодержащими компонентами активных масс (процесс карбонизации), окислять металлические токоведущие основы электродов, электрохимически восстанавливаться при разряде аккумулятора и выходить из него через предохранительный клапан при достижении избыточного давления внутри корпуса. В этом случае в процессе заряда аккумулятора часть выделяющегося кислорода участвует в реакции (5), а необратимая потеря кислорода, расходуемого на побочные реакции, приводит к накоплению на

отрицательном электроде доли активной массы, не участвующей в электрохимической реакции (Рис.1в) и, в конечном итоге - к потере емкости.

Процесс восстановления исходных характеристик, представленный на Рис.2 вполне реалистичен, но требует дополнительных трудозатрат и определённого количества времени на выполнение регламентных работ.

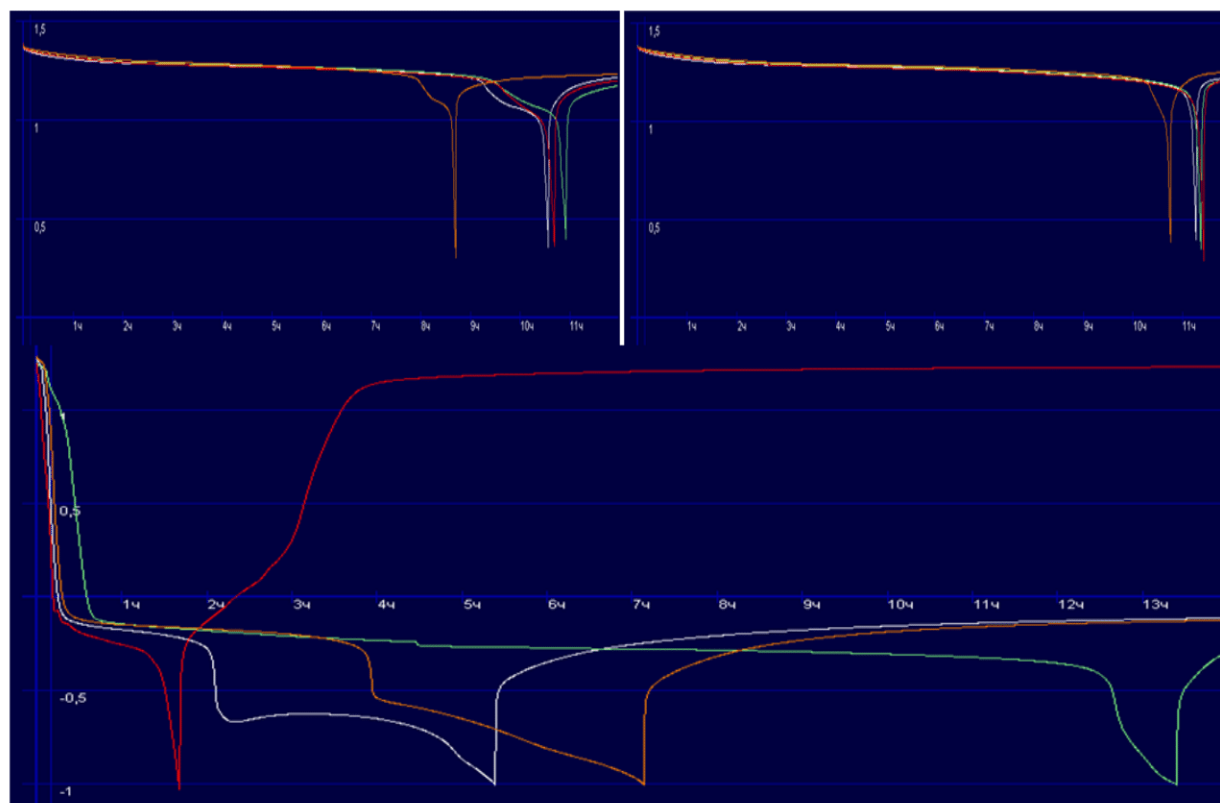


Рисунок 2 Проведение восстановительных работ. Разрядные кривые НК аккумуляторов: а - до процесса восстановления; б - после процесса восстановления; в - в ходе проведения восстановительных работ

Требование безуходности достаточно легко выполнимо для отдельных аккумуляторов, однако, при переходе к группе последовательно соединённых аккумуляторов (батарее), положение может осложняться неидентичностью их исходных электрических характеристик [5], что в свою очередь, при длительной эксплуатации батареи приводит к процессам, представленным на Рис.1в, в аккумуляторах с пониженным уровнем емкости. Решением этой проблемы является предварительный тщательный подбор аккумуляторов в батарею – комплектация.

С целью обеспечения идентичности ячеек в батарее и как следствие продления её срока службы ООО НТЦ «АНК» была разработана автоматизированная технология комплектования, а также аппаратура, реализующая данную технологию применительно как к герметичным никель-кадмиевым аккумуляторам, так и к другим электрохимическим системам, в том числе литий-ионным.

Разработанное специалистами предприятия оборудование позволяет осуществлять подбор аккумуляторов с любой степенью идентичности, задавая оптимальный уровень значений конечного зарядного напряжения и допустимый разброс величины разрядной емкости в заданном интервале значений конечного разрядного напряжения (Рис.3).

Выход технологии комплектования на качественно новый уровень стал возможным за счёт создания автоматизированного технологического оборудования с программным

обеспечением, позволяющим визуализировать результаты испытаний. Это дало возможность группировать в батареи аккумуляторы со схожими электрическими параметрами так, что АКБ стала работать как единый элемент. Последнее значительно упрощает систему контроля параметров батареи, что имеет особую важность, в первую очередь, для литиевых систем, а также для батарей любых других электрохимических систем, для которых важно обеспечить высокое качество и надежность эксплуатации.

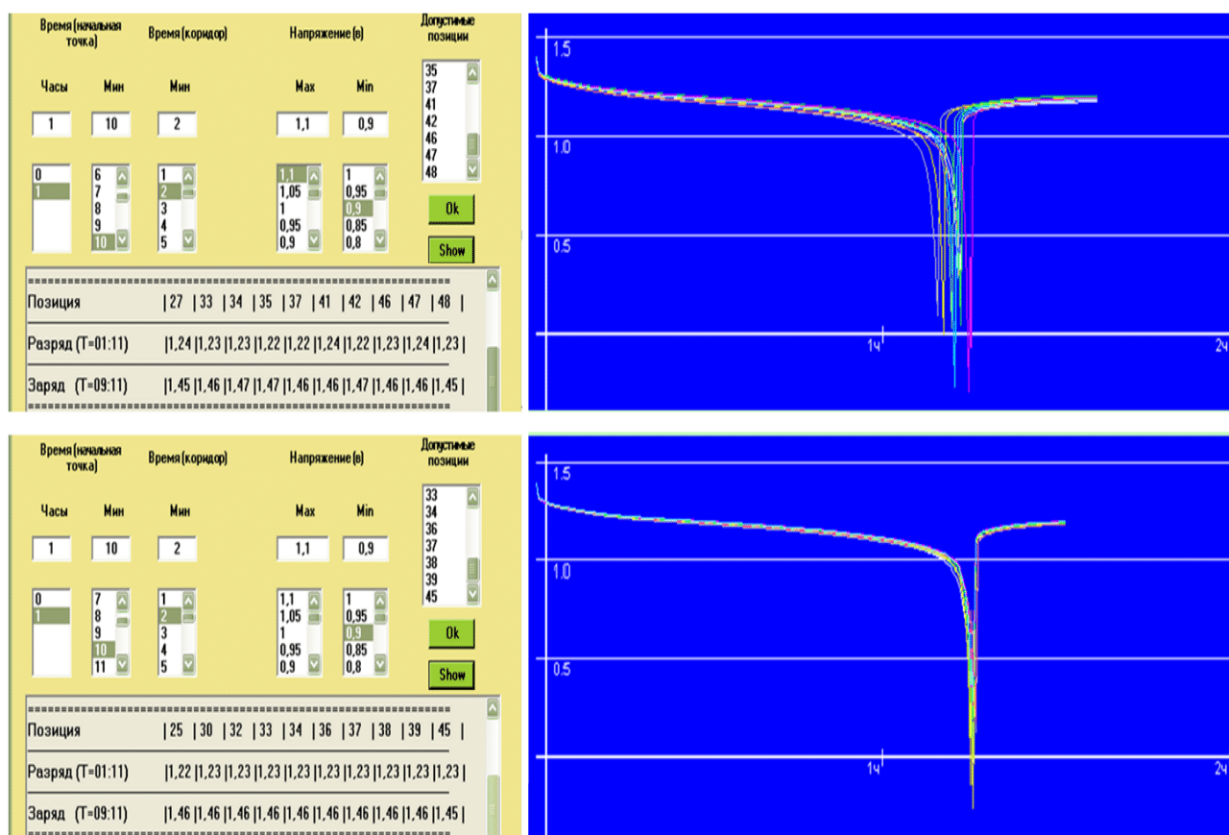


Рисунок 3 Разрядные характеристики скомпонованной батареи с различной степенью идентичности электрических параметров

При работе скомпонованных батарей в условиях, изменяющихся от цикла к циклу разрядных нагрузок, значения напряжений отдельных аккумуляторов не выходят за пределы допустимых значений (Рис. 4).

Нарастание разбалансированности аккумуляторных батарей, состоящих из аккумуляторов с существенно различающимися значениями электрической емкости при длительном циклировании приведены на рисунке 5.

Результатом эксплуатации таких батарей, состоящих из полностью герметичных аккумуляторов, как правило, становится деформация или разгерметизация корпуса наиболее «слабого» аккумулятора (Рис. 6).

В последнее время в электроустановках на основе ВИЭ широкое применение находят литий-ионные аккумуляторы различных модификаций ввиду высокой удельной энергоемкости и устойчивой тенденции к снижению себестоимости.

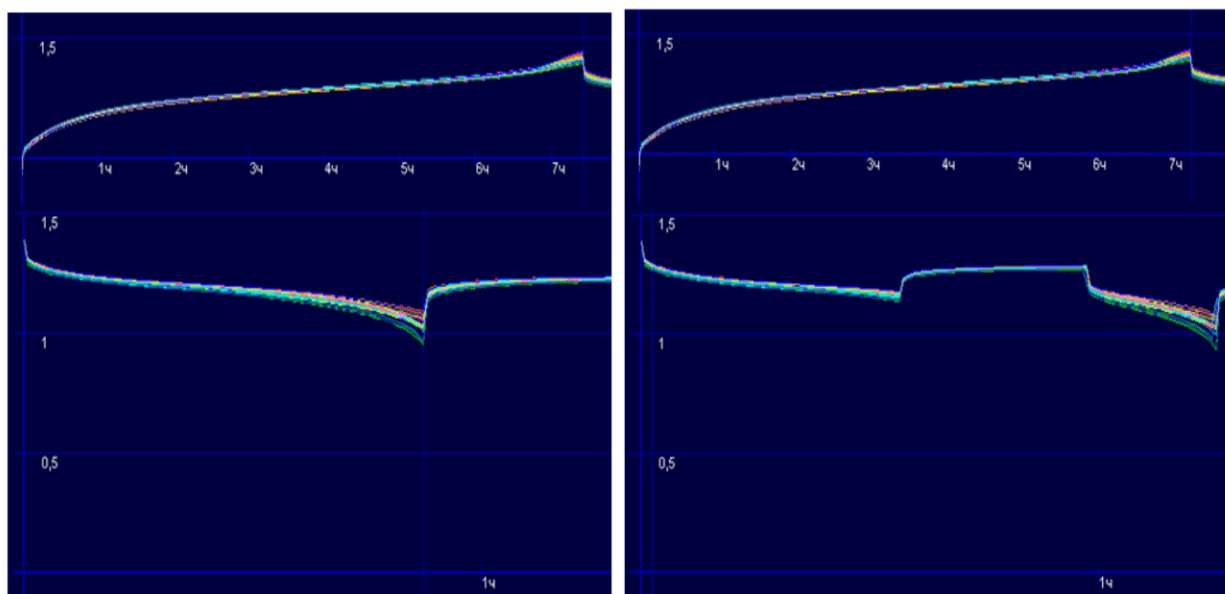


Рисунок 4 Зарядно-разрядная характеристика скомплектованной аккумуляторной батареи

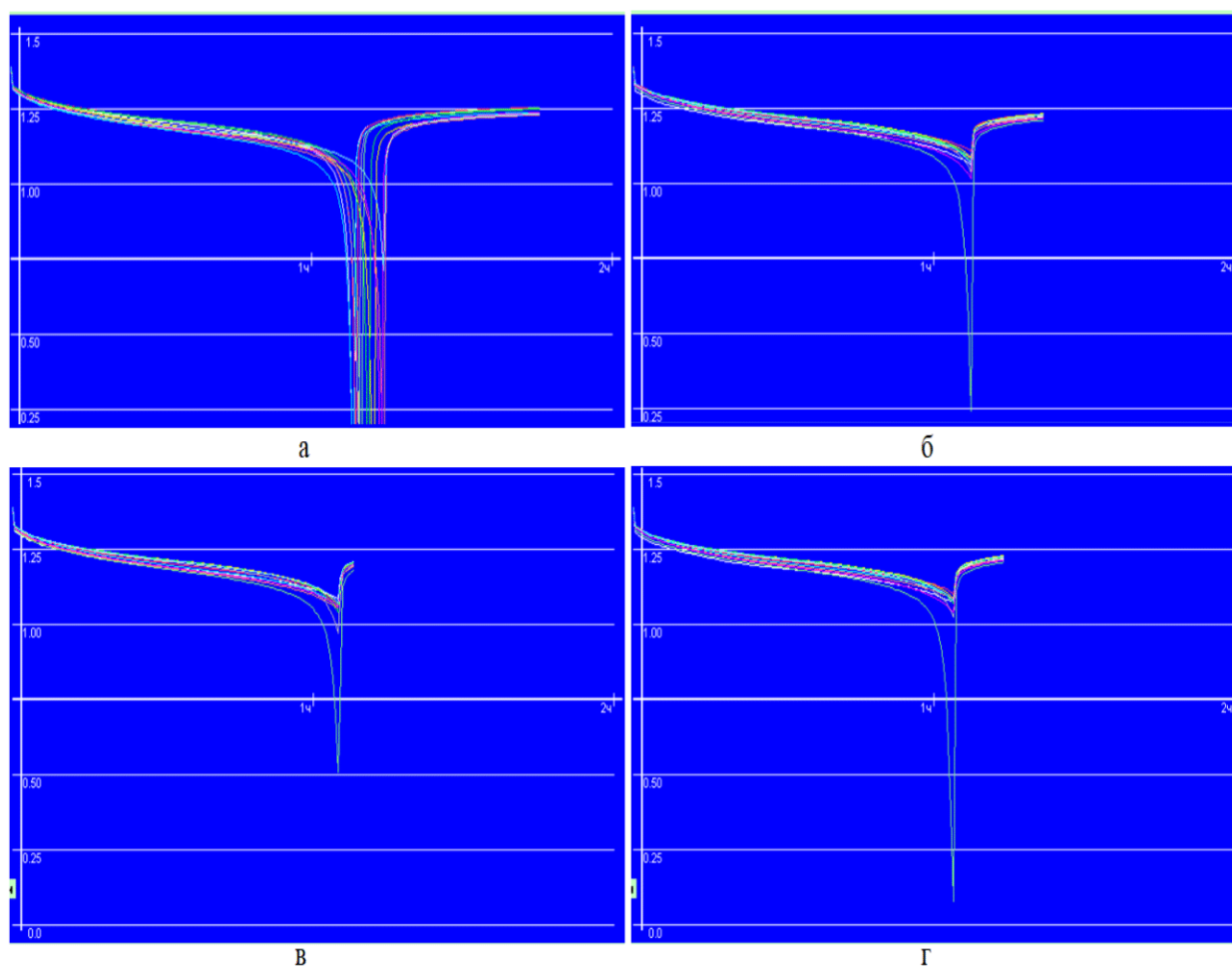


Рисунок 5 Разрядные кривые отдельных аккумуляторов – а, и тех же аккумуляторов в составе батареи 12В – б,в,г в процессе её циклирования

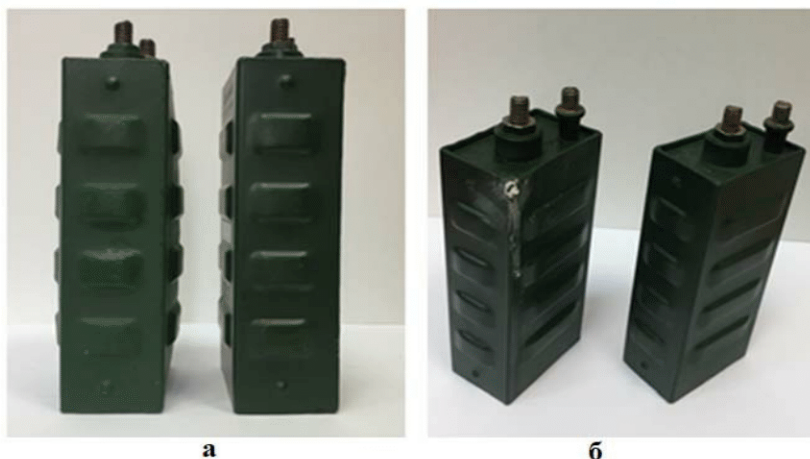
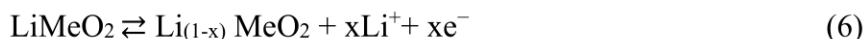


Рисунок 6 Последствия эксплуатации герметичных никель-кадмиевых батарей в условиях нескомплектованности входящих в них аккумуляторов: а – деформация корпуса аккумулятора; б – разгерметизация.

Токообразующие реакции на положительном и отрицательном электроде имеют вид:



Использование в литиевых ХИТ электролитов на основе органических растворителей с высоким напряжением разложения предотвращает протекание побочных процессов в диапазоне рабочих напряжений аккумулятора, что обеспечивает их герметичность и соответственно – безуходность. Однако при выходе за пределы установленного интервала напряжений начинаются необратимые химические процессы с участием органических веществ. Поэтому существенным недостатком литий-ионных аккумуляторов является угроза воспламенения или взрыва по причине перегрева, теплового разгона вследствие метастабильности химических соединений, короткого замыкания, перезаряда или переразряда аккумулятора в реальных условиях эксплуатации АКБ. В качестве примера на Рис.7 представлены данные разряда нескомплектованной батареи (12В, 100Ач) литий-железо-фосфатных аккумуляторов европейского производства на устройство контроля и управления в течение длительного времени в условиях симуляции аварийной ситуации. Как видно из приведенных данных, прослеживается явный разбаланс значений напряжения отдельных аккумуляторов в батарее с выходом за пределы допустимых 2,5 В.



Напряжение аккумуляторов в батарее, В
2,9
3,13
3,19
2,1

Рисунок 7 Разряд литий-железо-фосфатных аккумуляторов на систему контроля при длительном нахождении в режиме резерва

Такие нарушения условий эксплуатации могут значительно ускорить деградацию отдельных аккумуляторов и привести к преждевременному выходу из строя всей АКБ. Безопасное и эффективное использование литий-ионных аккумуляторов, а также уменьшение эффекта потери емкости батареи при её длительной эксплуатации, может быть обеспечено, как и в случае с аккумуляторами на основе водных электролитов, их правильным подбором в батарею на основании схожести электрических параметров. Благодаря чему существенно упрощается система контроля состояния батареи.

Программное обеспечение разработанных нашим научно-технологическим центром испытательных стендов, предусматривает графическое отображение динамических характеристик аккумуляторов, с возможностью наложения друг на друга графиков до 20 циклируемых ячеек одновременно, что даёт возможность еще на стадии производства АКБ прогнозировать их поведение в процессе эксплуатации. Применяемая методика тестирования позволяет также выявить в процессе комплектования следующие проблемы: микрокороткие замыкания (Рис. 8а), фазовые изменения (вторые площадки на графиках, Рис.8б), повышенное омическое сопротивление (Рис.8в), пониженные мощностные характеристики (Рис.8г), и с учётом полученных данных комплектовать аккумуляторы в батарею с максимально схожими фактическими параметрами исключая попадание потенциально нежелательных ячеек в батарею.

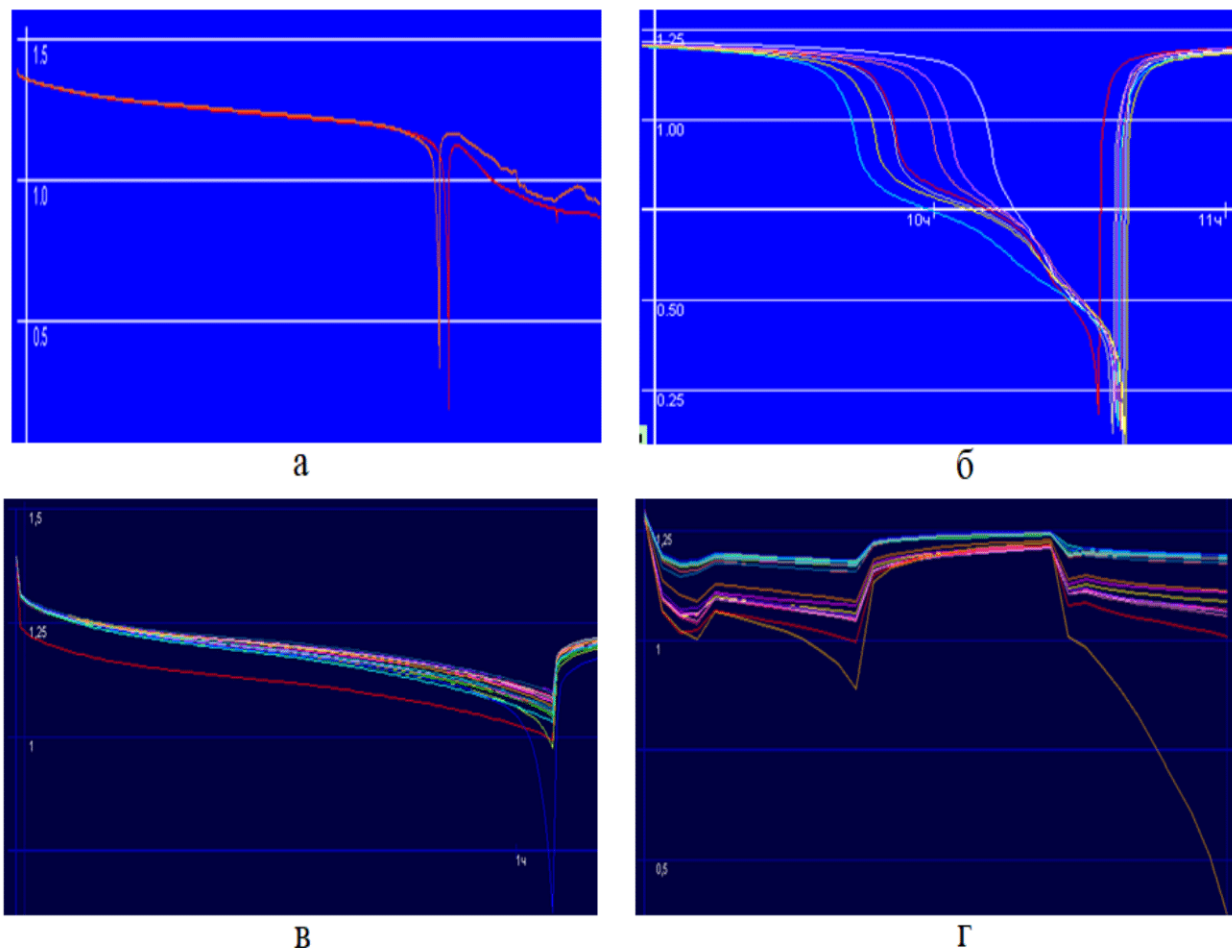


Рисунок 8 Влияние дефектов аккумулятора и побочно протекающих реакций на его зарядно-разрядные характеристики

Выводы

1. Выбор накопителя для автономных энергоустановок на базе ВИЭ для удаленных и труднодоступных регионов должен осуществляться с учётом критериев безуходности, надёжности и безопасности в течение длительного срока эксплуатации.
2. Эффективность работы аккумуляторной батареи любой электрохимической системы, определяется надлежащим комплектованием батареи, которое достигается подбором аккумуляторов с близкими электрическими параметрами.
3. Создание батарей, безусловно отвечающих требованиям эксплуатации, может быть достигнуто с помощью автоматизированной технологии комплектования аккумуляторных батарей, разработанной ООО «НТЦ «АНК».
4. Реализация предлагаемого подхода к созданию накопителей электроэнергии позволит при незначительном повышении начальных затрат на производство АКБ существенно снизить трудозатраты и финансовые средства, расходуемые в процессе всего срока эксплуатации энергоустановок.

Литература

1. Лукутин Б.В. Суржикова О.А. Шандарова Е.Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении: монография. — М. Энергоатомиздат 2008. — 231 с.
2. Карамов Д.Н. Актуальность применения возобновляемых источников энергии в децентрализованных населенных пунктах России на примере Ленского района республики Саха (Якутия) // Вестник ИргТУ. – 2013. – № 11(82). – С. 279–283.
3. Кузнецова Н.Д. Анализ эффективности применения аккумуляторных систем в / Н.Д.Кузнецова; науч. рук. С. В. Митрофанов // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: материалы Всерос. науч.-техн. конф.. Пермь, 23 мая 2017 г. В 2 т. – Пермь: Перм. нац.-исследоват. политехн. ун-т, 2017. – Т. 2. - С. 149-154.
4. Тарасенко А.Б., Попель О.С. Подходы к оценке и примеры применимости накопителей электрической энергии для различных приложений // Материалы Международного конгресса REENCON-XXI «Возобновляемая энергетика XXI век: Энергетическая и экономическая эффективность», Сколково, 13-14 октября 2016 г./ Под ред. к.ф.-м.н Д.О. Дуникова, д.т.н. О.С. Попеля - Москва: ОИВТ РАН. 2016. - 274 с. – СС. 243-249.
5. Теньковцев В. В., Центер Б. И. Основы теории и эксплуатации герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. Отд-ние, 1985. – 96 с., ил. – СС. 70-73