

# ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КОНТРОЛЬНО-ПРОВЕРОЧНОЙ АППАРАТУРЫ, ПРИМЕНЯЕМОЙ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НИКЕЛЬ-ВОДОРОДНЫХ И ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

**Гришаев Денис Юрьевич,**

г. Железногорск, Россия, Den-grishaev@yandex.ru

**Тютюнин Тимофей Викторович,**

г. Железногорск, Россия, Timofey@iss-reshetnev.ru

**Ильин Александр Николаевич,**

г. Железногорск, Россия, Saaan-il@yandex.ru

**Аннотация.** Постановка проблемы: активное совершенствование характеристик аккумуляторных батарей, использование новых типов аккумуляторов для систем электропитания космических аппаратов приводит к постоянному требованию совершенствовать контрольно-проверочную аппаратуру. Изучены пути развития аккумуляторных батарей, улучшение электрических характеристик, увеличение энергоемкости, увеличение количества аккумуляторов в одной батарее, переход от никель-водородных аккумуляторов к литий-ионным. Исследованы проблемы, возникающие на предприятиях-изготовителях КА, при поступлении к ним аккумуляторных батарей нового образца, в частности: невозможность контролировать параметры аккумуляторных батарей новых разработок (например, появления в составе АБ устройства контроля заряженности аккумуляторов), при испытаниях контрольно-проверочной аппаратурой предыдущего этапа развития; КПА не может обеспечить напряжения, токи необходимые для заряда-разряда аккумуляторных батарей; отсутствие автоматического управления режимами работы контрольно-проверочной аппаратурой первого и второго этапа развития; невозможность проведения дозаряда-доразряда любого аккумулятора на литий-ионной батарее, что приводит к увеличению времени работы этапа балансировки. Исследованы тенденции развития контрольно-проверочной аппаратуры (с первого по четвертый этапы развития). Изучены электрические характеристики, состав, режимы работы наземного оборудования для испытаний аккумуляторных батарей. Проанализированы достоинства и недостатки разработанной ранее и используемой в настоящее время контрольно-проверочной аппаратуры. Электрические характеристики КПА всех этапов развития сведены в таблицу. На основе проведенного анализа развития аккумуляторных батарей, тенденции развития контрольно-проверочной аппаратуры и того, что на всех космических аппаратах новых разработок будут использоваться только литий-ионные аккумуляторы- сформулированы требования, предъявляемые к перспективной КПА пятого этапа. К контрольно-проверочной аппаратуре пятого этапа предъявляются следующие требования: увеличить напряжение заряда-разряда до 150 В; увеличить ток заряда- разряда до 150 А; ввести в состав КПА устройства для дозаряда-доразряда аккумуляторной батарее; увеличить точность измерения напряжения каждого аккумулятора до  $\pm 5\text{мВ}$ ; проводить температурный прогон, виброиспытания КПА на предприятии-изготовителе. Полученные результаты могут быть использованы для разработки перспективной контрольно-проверочной аппаратуры пятого этапа и внедрения на все предприятия проводящие работы с аккумуляторными батареями.

**Ключевые слова:** аккумуляторная батарея; космический аппарат; контрольно-проверочная аппаратура; электрические характеристики; тенденции развития.

**Сведения об авторах:** Гришаев Д.Ю., инженер, АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева»; Тютюнин Т.В., ведущий инженер-конструктор, АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева»; Ильин А.Н., инженер-конструктор второй категории, АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева».

## Введение

Настоящая статья представляет интерес как для узкоспециализированного инженера в области создания и испытаний аккумуляторных батарей космических аппаратов (КА), так и для инженерного сообщества в целом.

Далее описаны виды, назначения аккумуляторных батарей космических аппаратов и контрольно-проверочной аппаратуры для их испытаний.

Аккумуляторные батареи (АБ) являются химическими источниками электрической энергии многократного использования в режимах заряд-разряд, обеспечивая работу аппаратуры космического аппарата (КА) в случае недостатка энергии солнечной батареи (СБ) на освещенных участках орбиты (пиковая нагрузка) или на теневых участках орбиты [1; 2].

Из всего многообразия известных аккумуляторных батарей на КА с длительным сроком функционирования нашли применения АБ с герметичными аккумуляторами следующих типов: серебряно-цинковые, серебряно-кадмиевые, кадмий-никелевые, никель-водородные, литий-ионные. Первые три типа аккумуляторов применялись на КА с малым сроком активного существования и небольшим количеством циклов заряд-разряд. В настоящее время на КА в основном применяются никель-водородные и литий-ионные аккумуляторы [3; 4].

Для проверки соответствия электрических характеристик заданным требованиям проводят входной контроль и автономные испытания АБ на заводе-изготовителе КА.

Цель входного контроля – проверить характеристики АБ за заводе-изготовителе КА, после получения от предприятия изготовителя и не допустить установку на борт КА некондиционной аппаратуры [5].

КПА предназначена для работы в качестве зарядно-разрядного комплекса с аккумуляторными батареями (АБ) космических аппаратов на всех этапах наземной эксплуатации.

Активное совершенствование характеристик аккумуляторных батарей, использование новых типов аккумуляторов для систем электропитания космических аппаратов приводит к постоянному требованию совершенствовать контрольно-проверочную аппаратуру. Необходимо исследовать проблемы, возникающие на предприятиях-изготовителях КА при испытаниях АБ новых разработок и сформулировать требования к КПА для их проверки.

### Тенденции развития КПА для проверки электрических характеристик АБ

В зависимости от совершенствования аккумуляторных батарей для космических аппаратов, менялись и требования к электрическим проверкам, и к контрольно-проверочной аппаратуре.

К КПА первого этапа предъявлялись следующие требования:

- работа с никель-водородными батареями;
- осуществлять заряд-разряд АБ (напряжением до 55 В, током до 10 А);
- производить отключение заряда по замыканию датчиков давления АБ;
- контролировать общее напряжение АБ, напряжение каждого аккумулятора;
- отключать режим разряда по минимальному напряжению на АБ;
- отключать режим заряда-разряда при достижении максимальной температуры на АБ.

Для решения поставленных задач в конце 70-х годов 20-го века государственное предприятие "Днепропетровский научно-производственный комплекс "Электровозостроение" (ДЭВЗ) г. Днепропетровск разработал и изготовил КИА-1(контрольно-измерительная аппаратура) для проверки электрических характеристик АБ.

КИА-1 предназначена для приведения в рабочее состояние и проведения автономных испытаний блока химических батарей.

Характеристики КИА-1 представлены в таблице 1.

Далее произошел значительный рост энерговооруженности АБ, увеличилось количество аккумуляторов в одной аккумуляторной батарее до 40. Это потребовало от КПА решения новых задач:

- обеспечить напряжение в режимах заряда-разряда АБ до 70 В;
- увеличить ток заряда-разряда до 50 А;
- контролировать напряжение на 48 аккумуляторах;
- производить доразряд любого аккумулятора;

– автоматическое управления режимами заряда-разряда;

Для выполнения новых требований к испытаниям АБ было разработано и создано КПА второго этапа- ЗРК-4 (зарядно-разрядный комплекс) с улучшенными характеристиками (см. табл. 1) производства АО «Сатурн» г. Краснодар.

Характеристики ЗРК-4 представлены в таблице 1.

В ЗРК-4 так и не было реализовано требование автоматического управления режимами работы с АБ по заданному алгоритму. Все режимы приходилось задавать вручную. Напряжение АБ, напряжение каждого аккумулятора контролировались по стрелочным приборам.

В связи с этим возникла необходимость в разработке КПА третьего поколения. От КПА третьего поколения требовалось:

- автоматизация процесса работы с АБ;
- введение в состав КПА ПЭВМ с возможность управления, задания алгоритмов работы, вывода информации на экран в удобной для обработки форме.

Для решения проблемы автоматизации процесса работы с АБ, в середине 80-х годов ОКТЬ ИП (Особое Проектно-Конструкторское и Техническое бюро источников питания) г. Днепропетровск разработало и изготовило КПА третьего поколения- ЗРК (зарядно-разрядный комплекс).

ЗРК предназначен для заряда, разряда, проведения тренировочных циклов аккумуляторных батарей различных электрохимических систем (характеристики см. табл. 1).

В конце 90-х годов для более полного контроля за состоянием АБ в состав никель-водородных батарей ввели УКЗА, предназначенное для контроля давления в аккумуляторах.

Для возможности контроля давления в аккумуляторах при испытаниях потребовалось провести доработку КПА. Доработать существующее КПА предложил научно-исследовательский институт автоматики и электромеханики томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники «НИИ АЭМ ТУСУР» г. Томск

«НИИ АЭМ ТУСУР» разработал и изготовил блок УК (устройство контроля) для контроля УКЗА и программное обеспечение, которое использовалось совместно с днепропетровским ЗРК.

С появлением литий-ионных АБ для космических аппаратов возникла необходимость в разработке и изготовлении КПА четвертого этапа.

От КПА четвертого этапа требовалось:

- работа с никель-водородными и литий-ионными АБ;
- измерение напряжения на АБ до 120В;
- измерение напряжения каждого аккумулятора до 4,5 В;
- управление работой КПА от ПЭВМ;
- программное обеспечение позволяющее создавать циклограммы испытаний, контролировать все характеристики АБ, производить запись и хранение информации, осуществлять диагностику аварийных и нештатных состояний;
- одновременный контроль: датчиков давления УКЗА, датчиков температуры, контактных датчиков давления ДД;
- проводить балансировку литий-ионной батареи;
- обеспечить период записи информации в протокол – 10 с, при снижении  $U_{эл}$  меньше 1 В, в режиме разряд, период записи в протокол – 2 с;
- напряжение заряда-разряда до 120В;
- ток заряда разряда до 150 А.

В 2008 году «НИИ АЭМ ТУСУР» г. Томск разработал и изготовил ЗРПАК (зарядно-разрядный программно-аппаратный комплекс).

ЗРПАК предназначен для работы в качестве зарядно-разрядного комплекса с АБ космических аппаратов на всех этапах наземной эксплуатации (характеристики см. табл. 1). Состоит из трех стоек ЗРК 120/30/30 и ПЭВМ, для одновременной работы с тремя АБ.

Характеристики КПА для проверки АБ

Этапы развития КПА Характеристики КПА	КПА первого этапа (КИА-1)	КПА второго этапа (ЗРК-4)	КПА третьего этапа (ЗРК)	Модернизированное КПА третьего этапа (ЗРК+АПС УКЗА)	КПА четвертого этапа (ЗРПАК)
Напряжение заряда-разряда, В	до 55	до 70	до 80	до 80	до 120
Ток заряда-разряда, А	до 10	до 50	до 20	до 20	до 30 / при параллельном подключении пяти стоек- до 150 А
Количество контролируемых аккумуляторов, шт	до 24	до 48	до 48	до 48	до 60
Точность измерения напряжения каждого аккумулятора, В	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,006$
Тип проверяемых АБ	никель-водородные	никель-водородные	никель-водородные	никель-водородные	никель-водородные, литий-ионные
Отображение информации о параметрах АБ	стрелочные приборы, световая индикация	стрелочные приборы, световая индикация	в цифровом виде на экране ЭВМ	в цифровом виде на экране ЭВМ	в цифровом виде на экране ПЭВМ
Доразряд АБ	нет	да	да	да	да
Управление	ручное	полуавтоматическое	от внешней ЭВМ	от внешней ЭВМ	от ПЭВМ
Балансировка АБ	-	-	-	-	да (литий-ионные АБ)
Контроль УКЗА	нет	нет	нет	да	да

### Перспективы развития КПА для проверки электрических характеристик АБ

В настоящее время появились новые задачи в испытаниях АБ, для решения которых необходимо разработать КПА следующего этапа.

К перспективному КПА предъявляются следующие требования:

1. Требования по эксплуатации:

- мобильность, уменьшение масса-габаритных размеров;
- оснащение каждого комплекта источником бесперебойного питания, позволяющим при длительном пропадании сети завершить работы с АБ.

2. Требования надежности:

- резервирование блоков управления стоек;
- проведение отбраковочных испытаний для выбранных ЭРИ;
- проводить температурный прогон, виброиспытания КПА на предприятии-изготовителе;
- наработка на отказ должна быть не менее 1 000 ч;
- любые неисправности КПА не должны приводить к повреждению АБ.

## 3. Функциональные требования:

- увеличить напряжение заряда- разряда до 150 В;
- увеличить ток заряда-разряда одной стойки до 50 А;
- дозаряжать-доразряжать любой аккумулятор АБ (с целью уменьшения времени балансировки АБ);
- измерение напряжения каждого аккумулятора с точностью  $\pm 5\text{мВ}$ ;
- скорость документирования состояния параметров не менее 0,5 с;
- возможность работы в режиме стабилизации тока заряда;
- разряд постоянной мощностью с применением до 10 стоек;
- поддержка канала связи между стойками и ПЭВМ по протоколу обмена Ethernet.

**Выводы**

Проведенный анализ тенденции развития аккумуляторных батарей, контрольно-проверочной аппаратуры, проблем возникающих на предприятиях-изготовителях космических аппаратов, при появлении аккумуляторных батарей новых разработок показал необходимость в разработке и создании перспективного КПА пятого этапа с улучшенными характеристиками. Сформулированы требования, предъявляемые к КПА пятого этапа.

**Литература**

1. В.Е. Чеботарев, В.Е. Косенко. Основы проектирования космических аппаратов информационного обеспечения: учеб. пособие, Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т.- Красноярск, 2011.-488 с., с ил.
2. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / под ред. А. И. Перова, В.Н. Харисова. 4-е изд., перераб. и доп.- М.: Радиотехника, 2010.- 800 с.: ил.
3. В.Н. Гушин. Основы устройства космических аппаратов: учебник для вузов/ В.Н. Гушин. М.: Машиностроение, 2003.- 272 с.
4. Космические вехи: сб. науч. тр. / под ред. проф. Н.А. Тестоедова; ОАО «Информ. спутниковые системы им. акад. М.Ф. Решетнева».-Красноярск, 2009.-704 с.
5. И.Т. Беляков, И.А. Зернов, Е.Г. Антонов. Технология сборки и испытаний космических аппаратов: Учебник для высших технических учебных заведений. М.: Машиностроение, 1990.-352 с.:ил.

---

## ADVANCED TRENDS FOR THE TEST EQUIPMENT DEDICATED TO CHECK ELECTRICAL PERFORMANCES OF SPACECRAFT LITHIUM-ION AND NICKEL-HYDROGEN BATTERIES

**Grishaev Denis Yur'evich,**  
Zheleznogorsk, Russia, Den-grishaev@yandex.ru

**Tyutyunin Timofey Viktorovich,**  
Zheleznogorsk, Russia, Timofey@iss-reshetnev.ru

**Ilyin Alexander Nikolaevich,**  
Zheleznogorsk, Russia, Saaan-il@yandex.ru

**Abstract.** Topicality: dynamic improvement of battery performances and the use of new types of powerpacks for the spacecraft electrical power systems leads to the constant need to improve test equipment. Battery development ways, electrical performances improvement, power-intensity-rising, the increasing number of batteries in one pack, the nickel-hydrogen batteries refusal for the lithium-ion packs concerned. The new battery incoming problems of spacecraft-making plants were studied: impossibility to control the new type battery performances ( for example, when there is a charged state control unit inside the battery) or the obsolete test equip-

ment does not provide the required voltage and current during the charge-discharge battery tests, self-operated mode control impossibility of first stage and second stage test equipment, impossibility of recharge-discharge of any part of lithium-ion battery (that leads to the increasing time of balancing tests). The test equipment development trends were investigated (including the test equipment from the first up to the fourth stage). Ground battery test equipment electrical performances, composition and operation peculiarities were observed. The earlier engineered and currently used test equipment virtues and shortcomings were analyzed. The electrical performances data of test equipment of every kind were compiled into a table. Taking into account the conducted analysis of battery development, the test equipment advanced trends and the fact that only lithium-ion batteries are allowed to use for the new spacecraft now, the requirements for the fifth stage test equipment were written. The following requirements are stated for the fifth stage test equipment: to increase the voltage for the charge-discharge state up to 150 V, to increase the current for the charge-discharge state up to 150 A, to embed the additional units for re-charge and re-discharge to be used as a part of battery, to increase the accuracy of voltage check up to  $\pm 5\text{mV}$  for each unit, to conduct test equipment thermal and vibration tests at the building plant. The results can be used for the development of promising fifth stage test equipment and the consistent introduction to the work of all plants which deal with batteries.

**Keywords:** battery; spacecraft; test equipment; electrical performances; growing trends.

### References

1. Chebotarev V., Kosenko V. Informational satellites designing basis. Instructional aid. Siberian space state university (Krasnoyarsk), issued 2011, the number of pages:488, pictures included.
2. GLONASS. Design and operation principles edited by Perova A.,Kharisova V., the forth time revised and developed issue, Moscow – radio engineering , issued 2010, the number of pages: 800, pictures included.
3. Guschin V. Spacecraft functioning basis. University student book. Moscow, mechanical engineering, issued 2003, the number of pages: 272.
4. Space landmarks: learned work collection edited by the professor Testoyedov N. , joint-stock company "ISS" named after M.F.Reshetnev, Krasnoyarsk, issued 2009, the number of pages: 704.
5. Belyakov I., Zhernov I., Antonov E. Spacecraft making and test technology: the student book for the institutes of higher education. Moscow, mechanical engineering, issued 1990, the number of pages: 352, pictures included.

### Information about authors:

Grieshaev D.Yu., engineer at stock company «ISS named after M.F.Reshetnev»;  
Tyutyunin T.V., leading engineer at stock company «ISS named after M.F.Reshetnev»;  
Iliyn A.N., second-class status engineer at stock company «ISS named after M.F.Reshetnev».