

УДК 629.78.064.5

**К.В. БЕЗРУЧКО, А.О. ДАВИДОВ, С.В. ШИРИНСКИЙ***Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## **ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ СТЕНДОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ АККУМУЛЯТОРОВ**

*В статье приведен обзор и анализ существующего стендового оборудования для определения технического состояния электрохимических аккумуляторов. Показаны особенности исследований и испытаний аккумуляторов в составе электрохимической батареи. Приведены структуры экспериментальных стендов для проведения исследований и испытаний электрохимических аккумуляторов. Показаны принципы выбора оборудования для построения стенда для исследования и испытания электрохимических аккумуляторов. Приведены схемы системы измерений, специализированного устройства поэлементного заряда и разряда электрохимических аккумуляторов, специализированных устройств многоканального измерения напряжения и температуры, а также системы контроля микроклимата*

**Ключевые слова:** *стенд, стендовое оборудование, электрохимический аккумулятор, исследование, испытание, специализированное устройство*

### **Введение**

Электрохимические аккумуляторы и химические батареи различных электрохимических систем и типоразмеров широко применяются в современной технике для обеспечения автономного или резервного электропитания. Как правило, основное внимание в устройствах с применением аккумуляторов уделяется надежному и качественному электропитанию нагрузки, а нужды самого аккумулятора считаются вторичными. Однако в ряде случаев для продления ресурса, диагностики, исследований и испытаний аккумуляторов требуется применение специального оборудования, например зарядных и разрядных устройств поэлементного заряда и разряда и других устройств учитывающих особенности электрохимических аккумуляторов и батарей на их основе.

В данной статье рассмотрены этапы построения экспериментальных стендов для исследований и испытаний электрохимических аккумуляторов на примере стенда для проведения ресурсных экспериментальных исследований никель-кадмиевых аккумуляторов.

### **1. Обзор и анализ существующего стендового оборудования для определения технического состояния электрохимических аккумуляторов**

В настоящее время для определения технического состояния электрохимических аккумуляторов

используются ряд стендов рассмотренных ниже.

Разрядный стенд химических источников тока «Силит», научно-производственного предприятия «Samy Ltd» [1] предназначен для проведения одновременного разряда большого числа аккумуляторов в различных режимах по заранее заданным программам для одного или нескольких элементов или групп элементов. Испытания на разрядном стенде могут происходить в непрерывном режиме с разными элементами отдельно или в группах в одном, в нескольких или во всех в 16 стыковочных узлах, при этом перезагрузка элементов стыковочного узла по окончании разряда не влияет на испытания в других стыковочных узлах.

Модульный испытательный комплекс ООО «Бустер СПб» [2] для определения технического состояния аккумуляторов позволяет управлять всем процессом испытаний с помощью персонального компьютера, подключать до 250 модулей к одному компьютеру, проводить независимые программы испытаний на каждом модуле.

Комплексы испытательного оборудования ОАО «АВЭКС» [3] предназначены для проведения ресурсных и приемо-сдаточных испытаний батарей различных типов химических аккумуляторов с напряжением от 1,5 до 40 В и токами разряда до 100 А. Испытания могут проводиться как в режимах, задаваемых оператором через персональный компьютер в реальном масштабе времени, так и в режимах непрерывного циклирования по предварительно заданной программе испытаний без непосредственного участия оператора.

Испытательная лаборатория химических источников тока ОАО "НИАИ "Источник" [4] позволяет проводить испытания химических источников тока для контроля качества производимой продукции, контроля качества потребляемой продукции, контроля качества импортируемой продукции, контроля качества экспортируемой продукции, независимой экспертизы, сертификации, оценки работы химических источников тока в различных условиях.

Как видно из обзора стендового оборудования [5], на данный момент не существует простого и универсального стендового оборудования для комплексного исследования и испытания электрохимических аккумуляторов.

## 2. Особенности исследований и испытаний электрохимических аккумуляторов в составе батареи

Специфика испытаний батарей электрохимических аккумуляторов проистекает из неидентичности характеристик аккумуляторов. Так для определения разрядной емкости, согласно стандартной процедуре, необходимо разрядить все аккумуляторы током 0,2С до напряжения 1В на каждом аккумуляторе. Однако, при обычном разряде батареи некоторые аккумуляторы могут быть недоразряжены, а другие переразряжены (рис. 1).

Данное обстоятельство, с одной стороны, не позволит точно определить емкость отдельных аккумуляторов и батареи в целом, а с другой стороны, может пагубно отразиться на состоянии аккумуляторов в случае их переразряда.

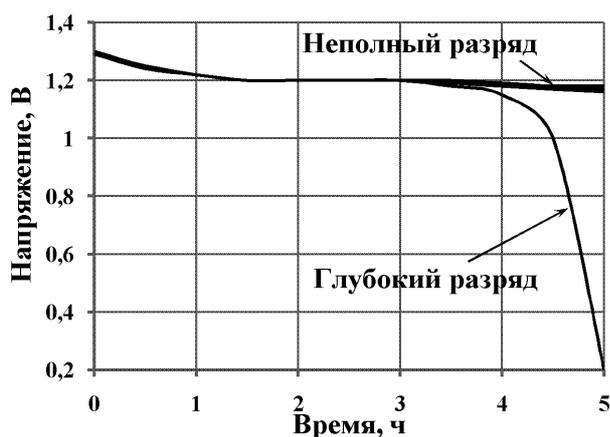


Рис. 1. Разряд тестовой батареи 5НКП-6 током 1,2А

Таким образом, при проведении испытаний батареи следует раздельно контролировать воздействие различных факторов на отдельные аккумуляторы в батарее и раздельно осуществлять измерения параметров состояния аккумуляторов в батарее.

Данное правило касается не только снятия зарядно-разрядных кривых, но и изучения саморазряда аккумуляторов, снятия вольт-амперных характеристик, технической диагностики и других экспериментальных исследованиях, связанных с совместной эксплуатацией некоторого количества единичных аккумуляторов в составе батареи (рис. 2). Причем с увеличением размерности батареи, т.е. количества аккумуляторов, входящих в ее состав, риск получения некорректных данных или повреждений отдельных аккумуляторов увеличивается пропорционально числу последовательно соединенных аккумуляторов в батарее.

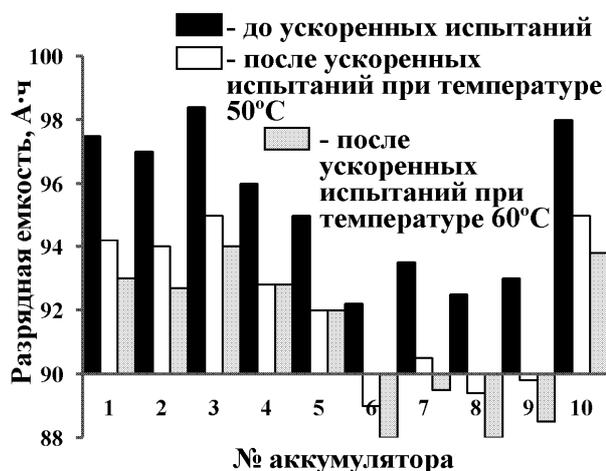


Рис. 2. Разброс емкостей аккумуляторов в батарее 27НКП-90 до и после ускоренного старения при температурах 50 и 60°C

## 3. Структура экспериментального стенда для проведения исследований и испытаний никель-кадмиевых аккумуляторов

Экспериментальные исследования, связанные с ресурсом аккумуляторов и батарей ракетно-космического назначения, требуют применения специализированного оборудования, имеющего специфические функциональные и технические характеристики.

Для проведения ресурсных экспериментальных исследований необходимо обеспечить измерение и контроль поля температур в зоне размещения объекта исследований в течение длительного времени с высокой точностью. Не менее важно обеспечить высокую точность определения характеристик аккумуляторов в процессе диагностики.

Исходя из этих требований, предложенных авторами, в лаборатории автономной энергетики Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный ин-

ститут» был перестроен многофункциональный стенд.

В состав стенда (рис. 3) для экспериментальных исследований и ресурсных испытаний электрохимических аккумуляторов входит следующее стендовое оборудование:

- специализированное устройство поэлементного разряда аккумуляторов (СУПРА) – предназначено для обеспечения требуемых режимов разряда единичных аккумуляторов различных электрохимических систем емкостью от 2 до 200 А·ч составе батареи;

- специализированное устройство поэлементного заряда аккумуляторов (СУПЗА) – предназначено для обеспечения требуемых режимов заряда единичных аккумуляторов различных электрохимических систем емкостью от 2 до 200 А·ч составе батареи;

- система измерений – осуществляет измерение требуемых параметров в автоматическом, полуавтоматическом или ручном режиме;

- система управления – предназначена для автоматизированного управления измерительными и силовыми устройствами, входящими в состав стенда и автоматического выполнения программы испытаний;

- система вентиляции;
- система контроля микроклимата.



Рис. 3. Схема стенда для ресурсных испытаний электрохимических аккумуляторов

#### 4. Оборудование, обеспечивающее построение стендов для исследования и испытания электрохимических аккумуляторов

Выбор зарядного или разрядного устройства для подготовки к работе электрохимических аккумуляторов и батарей на их основе не представляет трудности и заключается в подборе устройства, способного обеспечить требуемые значения тока и напряжения. Однако при решении более сложных задач, например для проведения диагностики или восстановления аккумуляторов, перечень требований к устройству существенно возрастает. Стоимость более сложных устройств существенно выше и приобретение устройства с расширенным спектром воз-

можностей может оказаться неоправданным при решении простых задач.

Таким образом, для рационального выбора устройства заряда или разряда аккумуляторов при решении конкретных задач, необходимо классифицировать спектр задач и различные устройства заряда-разряда, которые могут помочь в их решении.

При выборе устройства для обслуживания или диагностики аккумуляторов необходимо учитывать специфику задач, связанных с необходимостью проведения заряда или разряда аккумуляторов (рис. 4).



Рис. 4. Типичные операции с аккумуляторами, требующие применения специальных зарядных и разрядных устройств



Рис. 5. Области применения зарядных и разрядных устройств

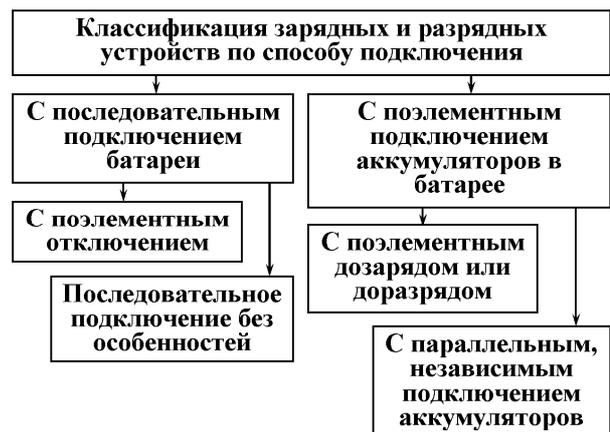


Рис. 6. Классификация существующих типов зарядных и разрядных устройств по способу подключения

Другой важной особенностью является специфика области применения зарядных или разрядных устройств (рис. 5).

Таким образом, все существующие типы зарядных и разрядных устройств можно разделить на несколько групп в зависимости от способа подключения (рис. 6) и формы используемого тока (рис. 7).



Рис. 7. Классификация существующих типов зарядных и разрядных устройств по форме тока

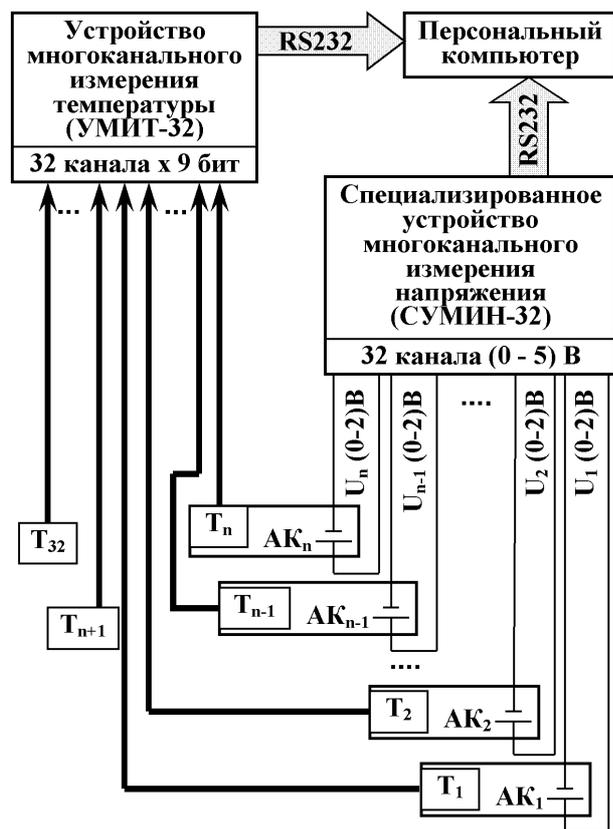


Рис. 8. Схема системы измерений:  
 n – количество аккумуляторов; АК – аккумулятор;  
 Т – цифровой термометр

Особенностью стенда, предложенного авторами, является применение цифровых измерительных систем, а так же параллельных схем подключения измерительных каналов (рис. 8), что позволяет добиться высокой точности измерения основных па-

раметров. При проведении ресурсных исследований проводится измерение напряжения, температуры и контроль тока заряда-разряда.

Применение параллельных схем подключения силовых и измерительных устройств позволяет одновременно и взаимно независимо определять характеристики отдельных аккумуляторов в составе батареи.

Силовые каналы (зарядного и разрядного устройств) также подключаются параллельно (рис. 9).

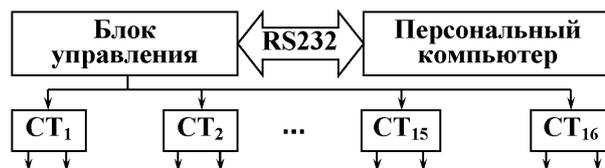


Рис. 9. Схема специализированных устройств поэлементного заряда и разряда аккумуляторов:  
 СТ – стабилизатор тока

В состав системы измерений (рис. 8), предложенной авторами, входят следующие устройства и компоненты: специализированное устройство многоканального измерения напряжения (СУМИН-32); специализированное устройство многоканального измерения температуры (УМИТ-32); комплект измерительных шунтов и кабелей.

Структуры специализированного устройства многоканального измерения напряжения и специализированного устройства многоканального измерения температуры показаны на рис. 10.

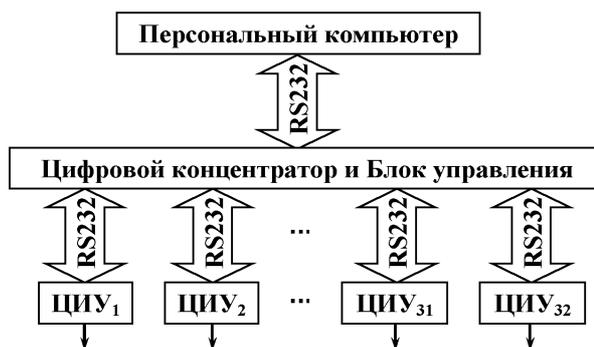


Рис. 10. Схема специализированного устройства многоканального измерения напряжения специализированного устройства многоканального измерения температуры:  
 ЦИУ – цифровые измерительные устройства (вольтметры или цифровые термометры)

Специализированное устройство многоканального измерения напряжения представляет собой линейку 24-х разрядных аналогоцифровых преобразователей с программируемым фильтром и усилением. Малое напряжение смещения аналогоцифровых

преобразователей входного усилителя (порядка 5мкВ) и дифференциальный вход позволяет корректно производить измерения сигналов в т.ч. микровольтового диапазона. В своём составе устройство имеет 32 поканально изолированных измерительных канала, источник питания и интерфейсную часть [6].

Свойства используемых датчиков (нелинейность и пр.) учитываются устройством СУМИН-32 благодаря возможности применения полиномов пользователя. Таким образом, на выходе устройства формируются достоверные значения измеряемых параметров (напряжение, ток, сопротивление), или непосредственно физических величин (значение давления, температуры, влажности и т.д.) [6].

Устройство УМИТ предназначено для многоточечного измерения температуры, которое осуществляется с помощью цифровых термометров на базе микросхемы DS1820 [7], выдающих сигнал температуры в виде цифрового кода. Устройство УМИТ-32 осуществляет опрос цифровых термометров, сбор и формирование пакетов данных о распределении температуры для передачи на персональный компьютер с помощью интерфейса RS232 [8].

Цифровые термометры DS1820 позволяют проводить измерение температуры в диапазоне от  $-55$  до  $+125^{\circ}\text{C}$  с точностью  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  (в диапазоне от  $-10$  до  $+85^{\circ}\text{C}$  с точностью  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ) и временем преобразования 0,2с. Устройство УМИТ-32 осуществляет опрос всех подключенных термометров DS1820, сбор данных с них и формирование пакетов, содержащих результаты измерения всех термометров, с частотой до 5Гц. Далее пакеты данных передаются на ПК, по протоколу RS232.

Измерительная система и специализированное программное обеспечение для автоматизированного управления испытаниями были разработаны авторами.

Система контроля микроклимата является важной частью стенда для экспериментальных исследований электрохимических аккумуляторов, поскольку обеспечивает поддержание требуемого состояния среды в зоне размещения объекта испытаний. В состав системы контроля микроклимата входят: реверсивный терморегулятор (рис. 11) и термокамера (рис. 12).

Реверсивным терморегулятором осуществляется управление нагревателями и холодильной установкой как в автоматизированном, так и в автономном режимах. Терморегулятор осуществляет попеременное включение нагревателя и холодильника для удержания температуры в заданном диапазоне или обеспечения заданного закона изменения температуры.

Термокамера представляет собой герметизируемую теплоизолированную камеру со встроенными устройствами нагрева и охлаждения, а также устройствами принудительной конвекции воздуха.

Нагрев воздуха в зоне размещения батареи осуществляется двумя электронагревателями закрытого типа.

Устройства принудительной конвекции представляют собой комплект вентиляторов и направляющих, размещенных в объеме термокамеры и прокачивающих воздух через электронагреватели.

Устройство охлаждения создано на основе промышленной холодильной установки ИФ56.



Рис. 11. Структурная схема реверсивного терморегулятора

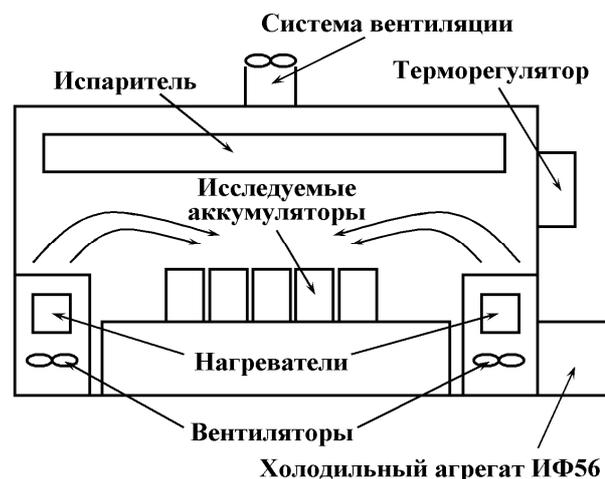


Рис. 12. Структурная схема термокамеры со встроенными системами вентиляции и термостабилизации

Система вентиляции предназначена для удаления вредных испарений от батареи из рабочей зоны и обеспечивает требования техники безопасности при работе с негерметичными щелочными электрохимическими аккумуляторами.

### Заключение

Как видно из вышесказанного, в настоящее время не существует универсального стендового оборудования для исследования и испытания электрохимических аккумуляторов. Поэтому специалистам в этой области приходится самим создавать стендовое оборудование под каждую отдельную научную задачу. В данной статье приведены универсальные основы построения современного экспе-

риментального стенда для исследования и испытания электрохимических аккумуляторов в составе батареи на примере стенда для ресурсных испытаний.

### Литература

1. Разрядный стенд химических источников тока [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.samy.krasno-yarsk.su/index.html> (18 мая 2011). – 01.06.2012 г.

2. Оборудование для испытаний и диагностики аккумуляторов и батарей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.buster.spb.ru/zru.htm> (18 мая 2011). – 01.06.2012 г.

3. Комплексы испытательного оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.avecs.ru/katalog3-3.php> (18 мая 2011). – 01.06.2012 г.

4. Испытательная лаборатория химических источников тока [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.niai.ru/page.php?page\\_id=9](http://www.niai.ru/page.php?page_id=9) (18 мая 2011). – 01.06.2012 г.

5. Азарнов, А.Л. Обзор и анализ оборудования для определения технического состояния электрохимических аккумуляторов [Текст] / А.Л. Азарнов, К.В. Безручко, А.О. Давидов, В.И. Лазненко, С.В. Синченко, С.В. Ширинский, А.А. Харченко // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2011. – №4 (81). – С. 44-49.

6. WAD-AIK-BUS(USB) ТУ У 33.2-33056998-001:2009АКОН.426437.001 [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: [http://www.akon.com.ua/prod\\_docs/WAD-AIK-BUS\(USB\).pdf](http://www.akon.com.ua/prod_docs/WAD-AIK-BUS(USB).pdf). – 01.06.2012 г.

7. DS18S20 High-Precision 1-Wire Digital Thermometer [Электронный ресурс], 2005. – Режим доступа: <http://datasheets.maximic.com/en/ds/DS18S20.pdf>. – 01.06.2012 г.

8. Fundamentals of RS-232 Serial Communications [Электронный ресурс], 2005. – Режим доступа: <http://china.maxim-ic.com/pdfserv/en/an/AN83.pdf>. – 01.06.2012 г.

Поступила в редакцию 1.06.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., проф. каф. 202 В.Н. Доценко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ», Харьков.

### ПОБУДОВА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИПРОБУВАННЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ АКУМУЛЯТОРІВ

*К.В. Безручко, А.О. Давідов, С.В. Ширінський*

В статті наведено огляд існуючого стендового обладнання для визначення технічного стану електрохімічних акумуляторів. Показані особливості досліджень та випробувань акумуляторів у складі електрохімічної батареї. Приведено структуру експериментального стенду для проведення досліджень та випробувань електрохімічних акумуляторів. Показані принципи вибору обладнання для побудови стенду для дослідження та випробування електрохімічних акумуляторів. Приведено схеми системи вимірювання, спеціалізованого пристрою по-елементного заряду та розряду електрохімічних акумуляторів, спеціалізованого пристрою багатоканального вимірювання напруги та температури та системи контролю мікроклімату.

**Ключові слова:** стенд, стендове обладнання, електрохімічний акумулятор, дослідження, випробування, спеціалізований пристрій.

### CONSTRUCTION OF TEST BENCHES FOR RESEARCH AND TESTING OF ELECTROCHEMICAL BATTERY

*K.V. Bezruchko, A.O. Davidov, S.V. Shirinsky*

Review of the existing bench equipment to determine the technical condition of electrochemical batteries is given in this article. Features of research and testing of electrochemical batteries in the battery are shown. Structure of the experimental bench for studies and tests of electrochemical batteries are shown. Principles for the selection of equipment for the construction of the test bench for the research and testing of electrochemical accumulators are shown. Schemes of the measurement system, a dedicated device elementwise charge and discharge of electrochemical batteries, specialized multi-channel measuring device voltage and temperature and climate control are shown.

**Key words:** bench, testing equipment, electrochemical battery, research, testing, specialized device.

**Безручко Константин Васильевич** – д-р техн. наук, проф., гл. научн. сотр., Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков.

**Давидов Альберт Оганезович** – канд. техн. наук, вед. научн. сотр., Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков.

**Ширинский Семен Владимирович** – канд. техн. наук, ст. научн. сотр., Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков.