

Для цитирования: Воронцова Е. О., Лукьяненко М. В., Крючков П. А. Оценка целостности фотопреобразователей солнечных батарей, применяемых на перспективных космических аппаратах // Сибирский журнал науки и технологий. 2018. Т. 19, № 4. С. 624–630. Doi: 10.31772/2587-6066-2018-19-4-624-630

For citation: Vorontsova E. O., Lukyanenko M. V., Kryuchkov P. A. [Cells wholeness inspection for solar array used on perspective spacecrafts]. *Siberian Journal of Science and Technology*. 2018, Vol. 19, No. 4, P. 624–630 (In Russ.). Doi: 10.31772/2587-6066-2018-19-4-624-630

ОЦЕНКА ЦЕЛОСТНОСТИ ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТАХ

Е. О. Воронцова^{1,2*}, М. В. Лукьяненко¹, П. А. Крючков^{2,3}

¹Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнёва
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

²АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнёва
Российская Федерация, 662972, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 52

³Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Российская Федерация, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30

* E-mail: jenvoroncova@gmail.com

В системах электропитания космических аппаратов в последнее время широкое применение нашли новые виды первичных источников питания: солнечные батареи (БС) на основе трехкаскадных арсенид-галлиевых фотопреобразователей взамен фотопреобразователей на основе кремния.

Спецификой данных фотопреобразователей (ФПЗП) является их малая толщина и хрупкость. В результате ФПЗП имеют низкую стойкость к внешним механическим воздействиям с образованием трещин. Трещины в ФПЗП приводят к снижению его мощности и, как следствие, к снижению мощности БС в целом.

В настоящее время контроль технического состояния БС осуществляется следующими методами: визуальный метод контроля целостности ФП (определяется целостность ФП и защитного стекла); измерение световой вольт-амперной характеристики БС, метод электролюминесценции.

Данные методы не позволяют достоверно и безопасно выявить дефекты в виде скрытых трещин на фотопреобразователях. Необходим метод, который бы позволял локализовать дефектный ФП и не требовал непосредственного подключения к БС, т. е. бесконтактный метод.

Суть предлагаемого метода заключается в том, что при облучении ФП лазерным излучением с длиной волны 0,40–0,55 мкм (область зеленого спектра) возникает люминесценция и ФП излучает свет в красной области спектра.

В АО «ИСС» проводился эксперимент по автоматизированному визуальному осмотру ФП БС на стенде. Стенд имеет движущуюся платформу, способную двигаться вдоль БС как по вертикали, так и по горизонтали. На платформе установлены фотокамера и лазер, который излучает свет в зеленой части спектра. Когда платформа устанавливается напротив проверяемого ФП, включается лазер, луч от которого направлен на ФП. Под воздействием лазера возникает фотолюминесценция, и поверхность ФП излучает свет в красной области спектра. Излучение фиксируется фотокамерой для измерения интенсивности спектра люминесценции ФП с помощью программного обеспечения (ПО). Далее, с помощью ПО сравнивают эту величину с величиной интенсивности спектра люминесценции, полученной заранее при тестировании эталонного ФП и записанной в памяти компьютера.

Установка на основе метода фотоэлектролюминесценции позволяет бесконтактно определить наличие дефектов ФП, определить скрытые трещины, снизить влияние человеческого фактора.

Ключевые слова: система электропитания, солнечная батарея, фотопреобразователь, метод, люминесценция.

CELLS WHOLENESS INSPECTION FOR SOLAR ARRAY USED ON PERSPECTIVE SPACECRAFTS

E. O. Vorontsova^{1,2*}, M. V. Lukyanenko¹, P. A. Kryuchkov^{2,3}

¹ Reshetnev Siberian State University of Science and Technology

31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

² JSC "Academician M. F. Reshetnev "Information Satellite Systems"

52, Lenin Str., Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russian Federation

³ National Research Tomsk Polytechnic University

30, Lenin Av., Tomsk, 634050, Russian Federation

*E-mail: jenvoroncova@gmail.com

New types of primary power supply have been used for wide application in Electric Power Systems (EPS) of spacecrafts (S/C) recently. These are Solar arrays (SA) based on three-stage GaAs cells instead of Si cells.

GaAs cells specific data is their low thickness and fragility. Due to that they have low resistance to mechanical stress and crack. Cracks in cells cause their power decrease and SA power decrease in whole.

At the present time SA maintenance is carried out by the following methods: the visual method of cells wholeness inspection (to detect cells and protective glass wholeness), SA current-voltage characteristic measurement, and the electro-luminescence method.

These methods do not allow detecting defects reliably and safely like hidden cracks in cells.

It is necessary to define the method which will help to detect a defective cell without direct SA connection. It means a non-contact method.

The content of the proposed method consists in cells illumination by lasing with wave length (0.40–0.55) μm (the green spectrum domain). It produces luminescence and the cell reflects light in the red spectrum domain.

The experiment of automatic visual SA cells inspection has been performed on the test stand at JSC "ISS". This stand has the moving platform which can be moved along SA as in vertical and also horizontal directions. On the platform there is a camera and laser producing light in the green spectrum domain.

When the platform is set opposite the tested cell, laser is switched on and its beam is pointed at the cell. Luminescence appears in lasing and the cell surface reflects the light in the red spectrum domain. The camera registers the emission to measure the cell luminescence spectrum intensity by means of software (S/W).

Then this value is compared by S/W with luminescence spectrum intensity value received and recorded in PC memory before the cell-etalon testing.

This test stand based on the electro-luminescence method allows us to define cells defects presence without contact and hidden cracks; to decrease impact of human factor.

Keywords: Electric Power System, Solar Array, cell, method, luminescence.

Введение. Система электропитания (СЭП) космического аппарата (КА) является одной из основных его систем, обеспечивающих функционирование и выполнение целевых задач. Мощность СЭП обеспечивает энергооборуженность космического аппарата [1]. Структурно СЭП состоит из первичных, вторичных источников энергии, контролирующей и преобразующей аппаратуры. Солнечная батарея (БС) является первичным источником энергии. Ресурс КА во многом определен ресурсом БС [2–3].

БС КА подвержена ресурсной деградации, в результате чего энергооборуженность КА снижается. Деградация БС закладывается в расчете при проектировании, с обеспечением необходимой выходной мощности в конце срока активного существования (САС). Для обеспечения расчетного изменения мощности параметры БС должны соответствовать заявленным в техническом задании параметрам. Проверка параметров БС производится на заводе-изготовителе КА (АО «ИСС»). Применяемыми в настоящий момент методами являются метод визуального осмотра и метод измерения вольт-амперной характеристики (ВАХ) БС при импульсном освещении [4; 5].

Специфика фотопреобразователей. Основным структурным элементом БС является фотопреобразователь (ФП). ФП осуществляет преобразование энергии света в электрическую энергию. С целью увеличения эффективности работы БС в настоящее время в АО «ИСС» практически полностью осуществлен переход на трехкаскадные арсенид-галлиевые фотопреобразователи (ФПЗП) на основе структуры GaInP/GaInAs/Ge [6–9].

Спецификой ФПЗП является их малая толщина и хрупкость. В результате ФПЗП имеют низкую стойкость к внешним механическим воздействиям с образованием трещин. Трещины в ФПЗП приводят к снижению его мощности и, как следствие, к снижению мощности БС в целом. Кроме того, проведенные исследования и анализ телеметрической информации большого числа КА показывают, что наличие повреждений ФП может явиться причиной выхода из строя рядом расположенных исправных ФП, что еще более ухудшает ситуацию [10; 11].

По проведенным оценкам не определяется порядка 0,1 % скрытых трещин в пластинах ФПЗП [10].

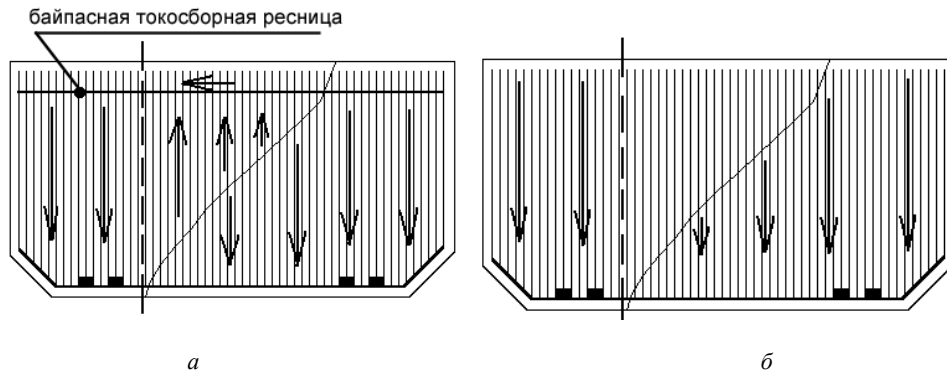


Рис. 1. Съем мощности с ФПЗП

Fig. 1. Removal of power from cells

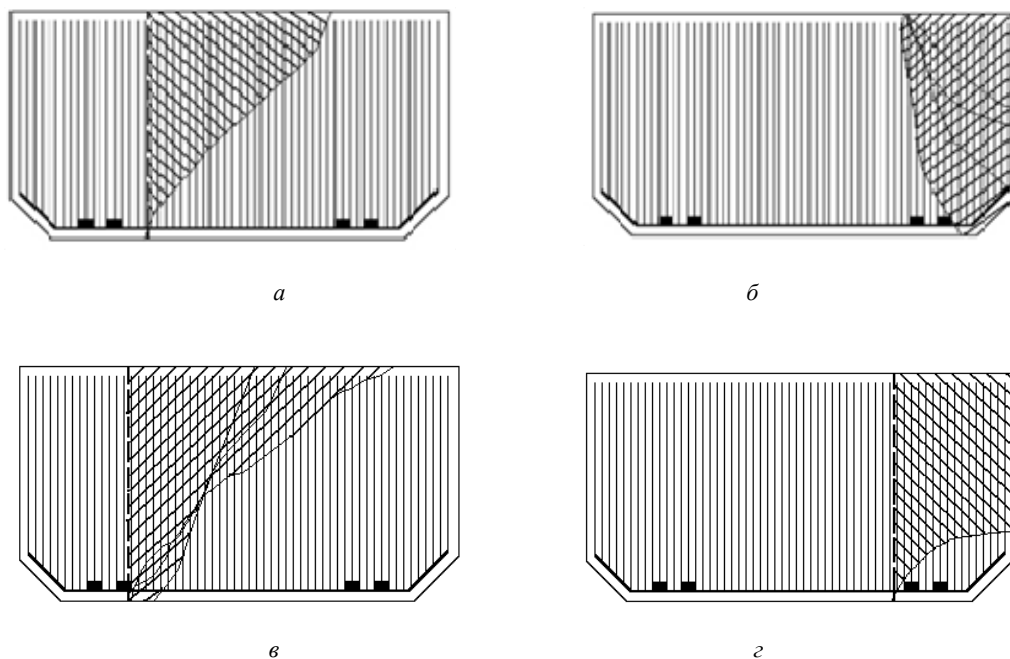


Рис. 2. Уменьшение эффективной площади ФПЗП при наличии трещин в пластине ФПЗП

Fig. 2. Reduction of the effective area of cells in the presence of cracks in the plate cells

Усугубляет ситуацию тот факт, что в настоящее время применяются ФПЗП без байпасной токосборной ресницы (ФПЗП производства АО «НПП «Квант» и ФПЗП производства ПАО «Сатурн»), в результате чего при наличии трещины любого вида происходит потеря снимаемой мощности с каждого ФПЗП. На рис. 1, *а* представлена ФПЗП с байпасной токосборной ресницей, на рис. 1, *б* – без нее соответственно, стрелками указывается принцип съема энергии. При наличии байпасной токосборной ресницы даже при наличии трещины в пластине ФПЗП съем энергии осуществляется практически полностью.

Оценка потери эффективной области ФПЗП при наличии трещин составляет в среднем 25 % для различных вариантов трещин. На рис. 2 представлены ФПЗП с трещинами различного вида, с заштрихованных областей не происходит съем мощности [12].

Причинами возникновения трещин ФПЗП на участке выведения и при штатной эксплуатации являются следующие:

- а) механические нагрузки от работы ракетносителя и разгонного блока;
- б) факторы космического пространства (микрометеориты).

Достаточность механической стойкости БС с ФПЗП в своем составе на участке выведения и в процессе летной эксплуатации подтверждается комплексом наземной отработки и опытом эксплуатации изделий-аналогов.

Причинами возникновения трещин ФПЗП при изготовлении и наземной эксплуатации являются следующие:

- а) несанкционированные механические воздействия при сборочных операциях, транспортировке и наземной эксплуатации;

б) наличие концентраторов механических напряжений в ФПЗП;

в) термомеханические воздействия на ФПЗП при проведении сварки коммутационных шин к контактными площадкам;

г) термовакuumное воздействие при технологических дегазации и термоциклировании.

Мерами по обеспечению требуемых характеристик в процессе наземной эксплуатации являются различные виды контроля состояния БС в целом и ФПЗП в частности. С увеличением САС КА разработки и изготовления АО «ИСС» до 15 лет повышение качества контроля солнечных батарей особенно актуально.

Применяемые методы контроля качества БС. В настоящее время техническое состояние солнечных батарей оценивают, в основном, методом визуального контроля и методом измерения световой ВАХ.

1. Метод визуального контроля. Метод визуального контроля проводится оператором в два этапа. *Первый этап* заключается в осмотре механической конструкции БС и ФГЧ. При этом оператор руководствуется перечнем внешних дефектов. К основным внешним дефектам относятся:

- трещины в ФПЗП;
- трещины в защитных стеклах ФПЗП;
- нарушение паяных соединений в монтаже БС;
- пыль, грязь, краска на поверхности панели;
- механические повреждения на конструкции каркасов;
- наличие трещин на изоляторах соединителей;
- повреждение резьбы соединителей;
- повреждение струн, каркаса;
- отрыв держателей;
- лучевые трещины на лицевых и тыльных стеклах ФПЗП;
- воздушные пузыри между стеклом и ФПЗП диаметром более 10 мм;
- обрывы токоотводов модулей шунтирующих и модулей развязывающих;
- трещины на лицевых стеклах диодных блоков;
- лучевые трещины на тыльных стеклах диодных блоков.

Производительность первого этапа визуального контроля оценивается 10 мин/м² (время осмотра 1 м² БС).

Второй этап состоит в определении типа трещин: трещины защитных стекол или трещины в ФПЗП. Данный этап заключается в осмотре лицевой поверхности поврежденного ФПЗП при его освещении лампой накаливания с тыльной стороны. При этом наличие видимого просвета означает трещину в пластине ФПЗП. Отсутствие просвета говорит о наличии трещины стекла.

На рис. 3 представлена фотография, полученная при освещении тыльной стороны ФПЗП галогеновой лампой мощностью 20 Вт. Видимый просвет указывает на наличие трещины пластины ФПЗП.

Качество визуального осмотра определяется квалификацией оператора и в любом случае не обеспечивает выявление скрытых трещин, проявляющих себя при штатной эксплуатации. Согласно проведенной оценке, трещины в пластине ФПЗП не всегда могут

быть определены на просвет. В среднем, не определяется 0,1 % скрытых трещин (процент числа ФПЗП со скрытыми трещинами от общего числа ФПЗП) [13].

Достоинства метода заключаются в простоте его проведения и отсутствии необходимости в закупке дорогостоящего оборудования.

Недостатками метода являются его субъективность и невозможность обнаружения скрытых трещин пластины ФПЗП.

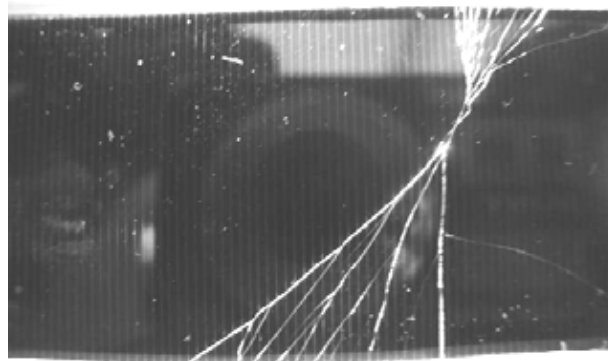


Рис. 3. Трещина ФПЗП, определенная визуальным методом

Fig. 3. Cell crack, determined by a visual method

2. Метод измерения световой вольт-амперной характеристики. После проведения визуального осмотра проводятся измерения ВАХ БС путем засветки панелей БС. Метод основывается на измерении значения величин тока и напряжения на подключенной нагрузке к БС при изменении сопротивления нагрузки за время светового импульса. Метод дает интегральную оценку текущего технического состояния солнечных батарей.

Достоинством метода является то, что он позволяет с высокой достоверностью определять наличие крупных дефектов. Недостатком метода является невозможность локализации дефектов, невозможность обнаружения небольших дефектов. Снятые характеристики сильно зависят от расположения осветителя и от величины светового потока. Для проведения метода необходима точная ориентация осветителя и БС [13].

3. Метод люминесценции при протекании прямого тока. При обнаружении несоответствия заявленной ВАХ измеренной и одновременном отсутствии видимых дефектов ФПЗП дополнительно может применяться метод люминесценции ФПЗП при прохождении прямого тока (рис. 4). Метод заключается в визуальном осмотре ФПЗП, люминесцирующих при прохождении через них прямого тока от внешнего источника питания. Источник питания подключают к элементарному генератору (ЭГ) БС в обход развязывающего устройства (РУ). Время прохождения тока ограничивают несколькими секундами (для недопущения перегрева ФПЗП). При отсутствии фототока ФПЗП работает на прямой ветви ВАХ в первом квадранте. Протекающий прямой ток вызывает люминесценцию фотопреобразователя. По визуальной картине свечения определяют наличие дефектов в ФПЗП. О нали-

ции трещины ФПЗП говорит резкая граница люминесцирующей и темной областей.

Достоинства метода заключаются в том, что он позволяет локализовать дефекты типа «скрытые трещины» ФПЗП и определяет отсутствие контакта в ЭГ.

Недостатком метода является то, что его проведение должно осуществляться только высококвалифицированными специалистами (в АО «ИСС» данную работу проводят разработчики БС). При реализации метода существует риск повреждения БС.

Описание предлагаемого метода контроля качества БС. Необходим метод, который бы позволял локализовать дефектный ФП и не требовал непосредственного подключения к БС, т. е. бесконтактный метод [14; 15].

Разрабатываемый метод должен удовлетворять следующим критериям:

- 1) невысокая стоимость устройства;
- 2) безопасность применения для персонала;

- 3) безопасность применения для солнечной батареи;
- 4) определение скрытых дефектов ФП;
- 5) возможность ведения протоколирования, записи объективных данных о каждом ФП;
- 6) возможность введения автоматизации процесса проверки;
- 7) возможность применения на всех стадиях производства.

Для нахождения подобного метода были проведен патентный поиск, рассмотрены различные существующие методы, позволяющие определить трещины ФП.

Суть предлагаемого метода заключается в том, что при облучении ФП лазерным излучением с длиной волны 0,40–0,55 мкм (область зеленого спектра) возникает люминесценция, и ФП излучает свет в красной области спектра. Причем люминесценция возникает как в освещенной лазером части ФП, так и в неосвещенной (рис. 5).



Рис. 4. Применение метода люминесценции ФПЗП

Fig. 4. Application of the luminescence cell method

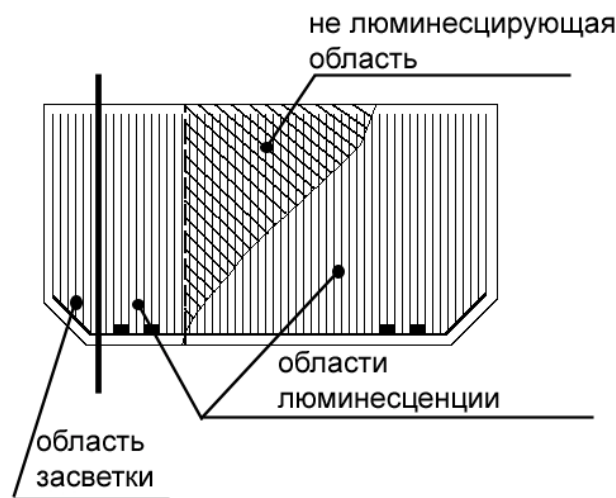


Рис. 5. Люминесцирующая и нелюминесцирующая области при наличии трещины ФП

Fig. 5. Luminescent and non-luminescent areas in the presence of an cell crack

В АО «ИСС» проводился эксперимент по автоматизированному контролю ФП БС на стенде, изготовленном в рамках технического задания на выполнение составной части опытно-конструкторской работы по теме «Разработка промышленной технологии транспортирования и входного контроля БС с улучшенными удельными характеристиками», исполнитель ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева» (СибГАУ).

Стенд имеет движущуюся платформу, способную двигаться вдоль БС как по вертикали, так и по горизонтали (рис. 6). На платформе установлены фотокамера и лазер, который излучает свет в зеленой части спектра. Когда платформа устанавливается напротив проверяемого ФП, включается лазер, луч от которого направлен на ФП. Под воздействием лазера возникает фотолюминесценция, и поверхность ФП излучает свет в красной области спектра. Излучение фиксируется фотокамерой для измерения интенсивности спектра люминесценции ФП с помощью программного обеспечения (ПО). Далее, с помощью ПО сравнивают эту величину с величиной интенсивности спектра люминесценции, полученной заранее при тестировании эталонного ФП и записанной в памяти компьютера.

На рис. 7 представлен фотоснимок целого ФП без воздействия лазерного излучения.

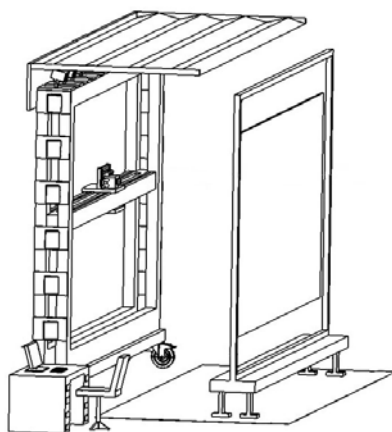


Рис. 6. Стенд для проверки БС

Fig. 6. Stand to check the SA

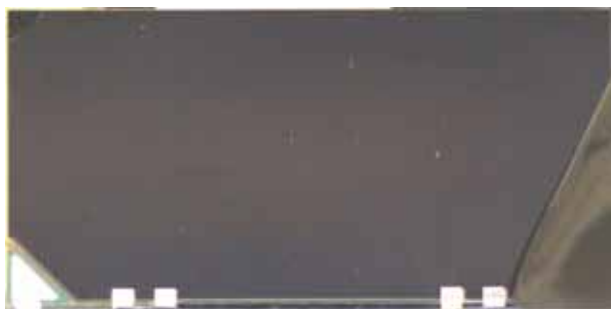


Рис. 7. Фотоснимок целого ФП

Fig. 7. Photograph of the whole cell

На рис. 8 представлен фотоснимок ФП под воздействием лазерного излучения. Как видно, ФП не имеет трещин, интенсивность люминесценции близка к эталонной.



Рис. 8. Фотоснимок ФП под действием лазера

Fig. 8. Photograph of cell by laser

ФП с трещинами под воздействием лазера показан на рис. 9. Как видно, у такого ФП можно наблюдать люминесцирующие области и области, где люминесценция не происходит. Данный метод позволяет оценить целостность ФП.

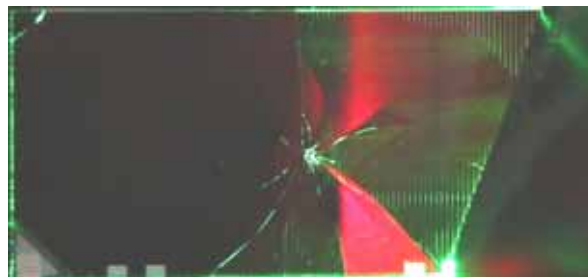


Рис. 9. Фотоснимок разбитого ФП под действием лазера

Fig. 9. Photograph of broken cell under the action of laser

Заключение. Рассмотрены применяемые в настоящий момент методы контроля качества ФП БС, а также описаны их достоинства и недостатки. Разработан новый метод контроля состояния солнечной батареи, позволяющий определять скрытые трещины в пластинах фотопреобразователей – метод люминесценции под действием оптического возбуждения. Определены требования к аппаратному составу разработанного метода. Проведена успешная апробация метода.

Установка на основе метода фотоэлектролюминесценции позволяет:

- бесконтактно определить наличие дефектов ФП;
- определить скрытые трещины;
- снизить влияние человеческого фактора.

Библиографические ссылки

1. Источники энергии электроснабжения космических аппаратов : монография / М. В. Лукьяненко [и др.] / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2008. 176 с.
2. Системы электропитания космических аппаратов / Б. П. Соустин [и др.]. Новосибирск : Сиб. изд-во, 1994. 318 с.

3. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей : пер с англ. М. : Энергоатомиздат, 1983. 360 с.
4. Методы контроля целостности фотопреобразователей / Т. Н. Журавлева [и др.] // Наука вчера, сегодня, завтра. 2016. № 4 (26) С. 148–156.
5. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия / Я. С. Уманский [и др.]. М. : Металлургия, 1982. 632 с.
6. Минин А. А., Матрунчик А. С. Перспективы использования фотоэлектрических преобразователей в мире и в России // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2016. Т. 7, № 1. С. 74–81.
7. Крючков П. А., Стадучин Н. В. Состояние и перспективы развития СЭП платформ тяжелого класса производства АО «ИСС» // IV науч.-техн. конф. молодых специалистов АО «ИСС» : сб. тезисов конф. Красноярск, 2017. С. 112–114.
8. Алферов Ж. И. Тенденции и перспективы развития солнечной энергетики // Физика и техника полупроводников. 2004. Т. 38, вып. 8. С. 48–51.
9. Domínguez C., Antón I., Sala G. Solar simulator for concentrator photovoltaic systems // Optics Express. 2008. Т. 16, № 19. P. 14894–14901.
10. Колтун М. М. Оптика и метрология солнечных элементов. М. : Энергоатомиздат, 1983. 365 с.
11. Фотоэлектрические свойства структур с микро- и нанопористым кремнием / Н. В. Латухина [и др.] // Известия Самарского научного центра РАН. 2009. Т. 11, № 3 (29). С. 66–71.
12. Барышников А. А., Горелов С. А., Мустафин Н. Ш. Анализ технологии солнечных батарей [Электронный ресурс] // Региональное развитие : электрон. науч.-практ. журнал. 2016. № 3(15). URL: <https://regrazvitie.ru/analiztehnologii-solnechnyh-batarej/> (дата обращения: 17.06.2018).
13. Сухоручкина Т. Ю. Проблемы развития возобновляемых источников энергии в России // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. 2016. № 2 (14). С. 40–43.
14. Комбинированные технологии получения перспективных порошковых материалов, нанесения покрытий и упрочнения поверхностных слоев с регулируемой нано- и микроструктурой / О. П. Солоненко [и др.] // Тяжелое машиностроение. 2007. № 10. С. 10–13.
15. Юдаев И. В. Изучение светопропускающих свойств сотового поликарбоната – покрывного материала круглогодичных теплиц // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 120. С. 239–252.
16. paratov [Power supply systems for spacecraft]. Novosibirsk, Sibirskoye izdatel'stvo Publ., 1994, 318 p.
17. Rauschenbach G. *Spravochnik po proyektirovaniyu solnechnykh batarey* [Guide for the design of solar panels]. Transl. from English. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1983, 360 p.
18. Zhuravleva T. N., Leonov S. N., Golovkov V. V., Aliseenko Yu. V. [Methods for monitoring the integrity of photovoltaic cells]. *Nauka vchera, segodnya, zavtra*. 2016, No. 4 (26), P. 148–156 (In Russ.).
19. Umansky Ya. S., Skakov Yu. A. et al. *Kristallografiya, rentgenografiya i elektronnaya mikroskopiya* [Crystallography, X-ray Diffraction and Electron Microscopy]. Moscow, Metallurgy Publ., 1982, 632 p.
20. Minin A. A., Matrunchik A. S. [Prospects of photovoltaic cells use in the world and in Russia]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvoi arkhitektura*. 2016, Vol. 7, No. 1, P. 74–81 (In Russ.).
21. Kryuchkov P. A., Stadukhin N. V. [The state and prospects of development of EPS platforms of a heavy class of production of JSC "ISS"]. *IV nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya molodykh spetsialistov AO ISS* [IV scientific and technical conference of young specialists of JSC "ISS"]. Krasnoyarsk, 2017. P. 112–114.
22. Alferov Zh. I. [Trends and prospects of development of solar energy]. *Fizika i tekhnika poluprovodnikov*. 2004, Vol. 38, Iss. 8, P. 48–51 (In Russ.).
23. Domínguez C., Antón I., Sala G. Solar simulator for concentrator photovoltaic systems. *Optics Express*. 2008, Vol. 16, No. 19, P. 14894–14901.
24. Koltun M. M. *Optika i metrologiya solnechnykh elementov* [Optics and metrology of solar cells]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1983, 365 p.
25. Latukhina N. V., Dereglazova T. S., Ivkov S. V. et al. [Photoelectric properties of structures with micro- and nano-porous silicon]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2009, Vol. 11, No. 3 (29), P. 66–71 (In Russ.).
26. Baryshnikov A. A., Gorelov S. A., Mustafin N. Sh. [Analysis of solar cell technology] *Regional'noye razvitiye: elektronnyy nauchno-prakticheskiy zhurnal*. 2016, No. 3 (15) (In Russ.). Available at: <https://regrazvitie.ru/analiztehnologii-solnechnyh-batarej/> (accessed: 17.06.2018).
27. Suhoruchkina T. Ju., Atrashenko O. S. [Problems of development of renewable energy sources in Russia]. *Energo- i resursosberezhenie: promyshlennost' i transport*. 2016, No. 2 (14), P. 40–43 (In Russ.).
28. Solonenko O. P., Cherepanov A. N., Marusin V. V., Poluboyarov V. A. [Combined technologies of obtaining promising powder materials, coating and hardening of the surface layers with controlled nano- and microstructure]. *Tyazheloe mashinostroenie*. 2007, No. 10, P. 10–13 (In Russ.).
29. Judaev I. V. [Study of the light transmitting properties of cellular polycarbonate – covering material of year-round greenhouses] *Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016, No. 120, P. 239–252 (In Russ.).

References

1. Lukyanenko M. V., Lukyanenko M. M., Lovchikov A. N., Bazilevsky A. B. *Istochniki energii elektrosnabzheniya kosmicheskikh apparatov* [Sources of energy for power supply of spacecraft]. Krasnoyarsk, SibSAU Publ., 2008, 176 p.
2. Soustin B. P., Ivanchura V. I., Chernyshev A. I., Islyayev Sh. N. *Sistemy elektropitaniya kosmicheskikh ap-*