

7. OSIRIS-REx Instruments [Электронный ресурс]. – URL: <https://spaceflight101.com/osiris-rex/osiris-rex-instruments> (дата обращения: 03.04.2021).

8. Active Particle-induced X-ray Spectrometer for CHANG'E-3 YuTu Rover Mission and its first results [Электронный ресурс] / W.X. Peng [и др.]. – 45th Lunar and Planetary Science Conference, 2014. – 2 p.

9. Захаров, А.В. Проект космической экспедиции «Фобос-Грунт» [Текст] / А.В. Захаров [и др.]. – М.: ИКИ РАН, 2011. – 520 с.

10. The Radiation Assessment Detector (RAD) Investigation / D.M. Hassler [и др.] // Space Science Reviews [Электронный ресурс]. – V. 170, Issue 1-4, 2012. – P. 503-558.

УДК 621.311.61

*Пащенко Д.В., Мартышкин А.И.,
Михеев М.Ю., Синев М.П.*

МАКЕТ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Введение. Эффективность решения задач, связанных с освоением космоса, в первую очередь определяется достижениями в области бортовых энергетических и двигательных установок космических аппаратов (КА). Усложняющиеся задачи требуют повышенного энергопотребления и контроля мощности, которой питается КА. Применение и создание наиболее эффективных систем энергообеспечения (СЭ) даёт возможность как усложнить решаемые КА задачи и увеличить их число, так и открыть важные новые способы использования в различных целях космических полётов. В связи с этим постоянно ведутся исследования, совершенствующие СЭ КА.

Анализируя работы [1–4], становится очевидным, что при функционировании КА отказ СЭ является наиболее частой нештатной ситуацией. Со стороны энергообеспечения типичными нештатными ситуациями являются: дефекты в солнечных батареях (СБ), возникающие на этапе их изготовления и не выявленные на этапе подготовки КА к запуску; фактор износа с течением времени элементов

СБ и т.п. Исходя из анализа работ [5, 6], встает вопрос о необходимости контроля технического состояния СЭ, для своевременного оповещения о неполадках её составных частей и возможности устранения неисправности до выхода из строя всей системы в целом.

Целью исследования является разработка макета системы контроля (СК) СЭ КА, позволяющего моделировать изменение её технического состояния и прогнозировать остаточный ресурс её элементов. Для достижения цели определены задачи: разработка макета СК параметров СЭ КА; проведение экспериментальных исследований по измерению значений электрических параметров СБ и при моделировании процессов её износа.

В ходе проведенного исследования, заключающегося в том числе и в анализе СЭ КА, а также в анализе факторов, влияющих на техническое состояние и ресурс составляющих узлов СЭ КА, предложен макет СК параметров СЭ КА, представленный на рис. 1. Состав элементов макет представлен в подрисуночной подписи.

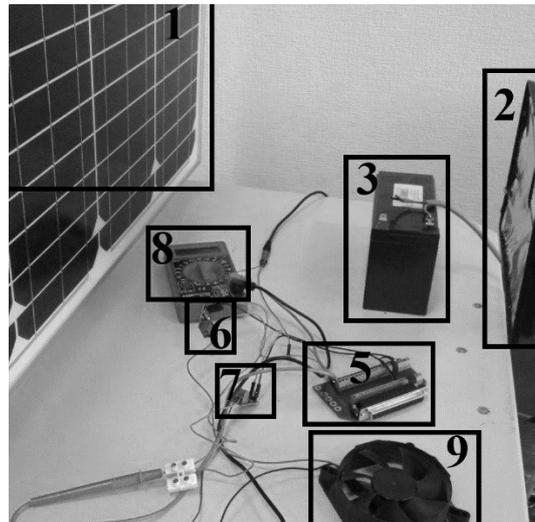


Рис. 1. Макет системы контроля параметров системы электроснабжения КА:

- 1 – солнечная батарея 30 Вт Sunways ФСМ-30М [7];
- 2 – лампа электрическая;
- 3 – аккумуляторная батарея csb HR 1234 w F2 (12V 9Ah) [8];
- 4 – EPSolar LandStar 1024R 10A 12/24В [9];
- 5 – E14-440 внешний модуль ЦАП/АЦП на шину USB [10];
- 6 – датчик тока ACS712 [11];
- 7 – датчик напряжения 0 – 25 В [12];
- 8 – мультиметр цифровой ELITECH MM 100 [13];
- 9 – источник нагрузки – компьютерный кулер с параметрами $I = 0,14\text{A}$, $U = 12\text{ В}$; 10 – ПЭВМ

В рамках проводимого исследования рассматриваются и моделируются процессы, связанные с износом СБ. Исследуются и фиксируются параметры, характеризующие техническое состояние СБ. В условиях эксперимента изменялась площадь СБ и её освещенность.

Меняя эти параметры, меняется выходная мощность СБ и при достижении некоторой пороговой мощности P_{\min} , система становится неработоспособной, СБ не может выдать необходимую мощность для питания имеющейся нагрузки. На основе полученных экспериментальных данных можно оценить зависимости мощности от площади поверхности СБ и мощности от освещенности. Изменяя параметры в режиме реального времени, можно спрогнозировать остаточный ресурс СБ.

В начале рассматривался вопрос износа СБ путем уменьшения площади рабочей поверхности. С уменьшением площади, уменьшалась и выходная мощность СБ до момента, пока не опустилась до предельного значения, когда выходной мощности не хватает для работы имеющейся в системе нагрузки. Эксперимент выполнялся при освещенности $E = 5909,7$ люкс. В ходе эксперимента расстояние от лампы до СБ не изменялось и составляло 0,36 м. На графике, представленном на рис. 2, показана зависимость выходной мощности от площади СБ.

Из рис. 2 видно, что по мере уменьшения площади СБ вследствие ее износа уменьшается и выдаваемая СБ мощность.

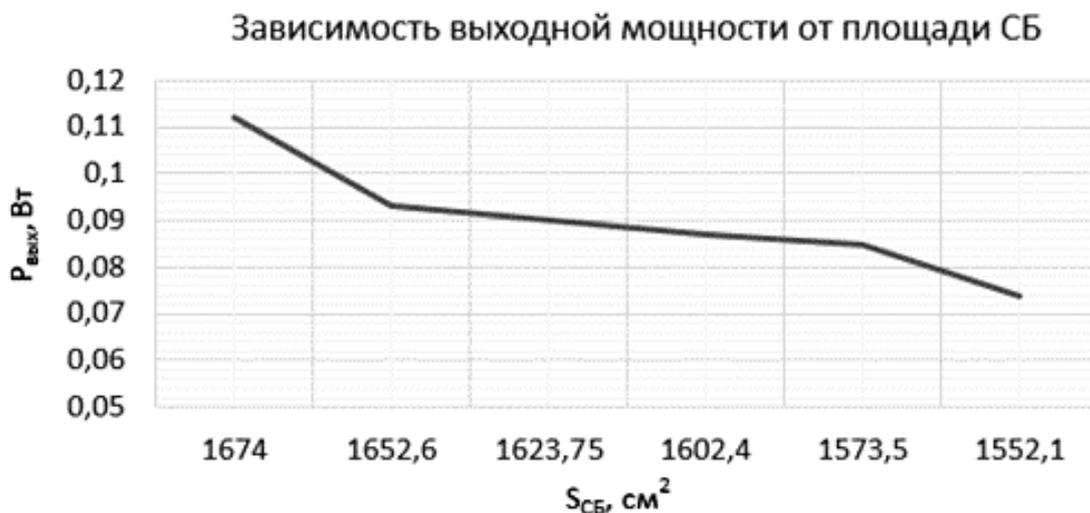


Рис. 2. График зависимости выходной мощности СБ от ее площади



Рис. 3. График зависимости выходной мощности СБ от ее освещенности

Далее рассматривался вопрос, касающийся изменения освещенности. Исследования проводились при изменяющейся в сторону уменьшения освещенности от 5909,7 люкс до 4779,3 люкс.

Эксперимент проводился при постоянной площади СБ $S = 1674 \text{ см}^2$. В ходе эксперимента расстояние от лампы до СБ было аналогичным первой части исследования и составляло 0,36 м. На графике, представленном на рис. 3, показан график зависимости выходной мощности от освещенности СБ.

Из рисунка видно, что с уменьшением освещенности уменьшалась и выходная мощность СБ, и при пороговом значении ($P = 0,077 \text{ Вт}$, $E = 4779,3 \text{ люкс}$) имеющейся в системе нагрузки не хватало мощности для полноценной работы, она отключалась.

Скорость изменения определяющего параметра $\gamma = dP/dt$ можно оценить с помощью проводимого эксперимента или с помощью математических моделей физико-химических процессов, возникающих в элементе при использовании по назначению. В процессе эксплуатации на солнечную панель действуют разнообразные факторы, которые также влияют на её техническое состояние. Со временем солнечная панель подвергается износу под действием этих факторов, её выходная мощность снижается, и настанет момент, когда значение мощности приблизится к пороговому значению ($P_{\min} + \Delta$), а затем достигнет значения, при котором батарея не сможет выдавать требуемую мощность для питания нагрузки (P_{\min}), произойдет отказ системы.

Поэтому важно знать и контролировать заранее параметры СБ, чтобы иметь возможность устранить неисправность до выхода из строя системы в целом. Скорость изменения выходной мощности будет иметь вид:

$$P = P_0 - \gamma t, \quad (1)$$

Измеряя параметры мощности в разные промежутки времени $(t_1 - t_4)$, в виде $I, U(t_0) \rightarrow P_0$, $I, U(t_1) \rightarrow P_1$, $I, U(t_4) \rightarrow P_4$ можно оценить и понять, когда значение приближается к пороговому, а также определить остаточный ресурс СБ. Если известные аргументы P_0 и γ подчиняются нормальному закону распределения со следующими параметрами: $M(P_0) = \bar{P}_0$ и $M(\gamma) = \bar{\gamma}$ (математические ожидания) и $\sigma_{P_0}, \sigma_\gamma$ (средние квадратические отклонения), то соответствующее распределение параметра P в конкретный момент времени t также будет подчиняться нормальному закону распределения. В этом случае $M(P) = \bar{P} = M(P_0) - M(\gamma) = \bar{P}_0 - \bar{\gamma}t$ – математическое ожидание и $\sigma_P = \sqrt{\sigma_{P_0}^2 + (\sigma_\gamma t)^2}$ – среднее квадратическое отклонение.

Приняв вероятность безотказной работы $p_{\text{безотк}}(t)$ равной такой вероятности, что за временной интервал t параметр P не превысит значение P_{\min} , имеем

$$p_{\text{безотк}}(t) = p_{\text{безотк}}(P \geq P_{\min}) = \frac{1}{2} + \Phi \left[\frac{P_{\max} - (\bar{P}_0 - \bar{\gamma}t)}{\sqrt{\sigma_{P_0}^2 + (\sigma_\gamma t)^2}} \right], \quad (2)$$

Таким образом, чтобы иметь возможность прогнозирования остаточного ресурса СБ, необходимо постоянно следить за параметром $\gamma = dP/dt$.

Закключение. В ходе исследований получены экспериментальные данные для макета системы контроля параметров системы энергообеспечения (СЭ) КА. Предлагаемый макет позволяет моделировать различные ситуации по изменению параметров СЭ и измерять значения параметров тока и напряжения солнечной батареи (СБ) в реальном масштабе времени, что даёт возможность прогнозирования остаточного ресурса СЭ. Показано, что для прогнозирования остаточного ресурса СБ, необходимо постоянно отслеживать параметр $\gamma = dP/dt$.

Библиографический список

1. Гушин, В.Н. Системы энергопитания / В.Н. Гушин // Основы устройства космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 2003. – 272 с.

2. Туманов, А.В. Основы компоновки бортового оборудования космических аппаратов: учебное пособие / А.В. Туманов, В.В. Зеленцов, Г.А. Щеглов. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 344 с.

3. Никольский, В.В. Основы проектирования автоматических космических аппаратов: учебник / В.В. Никольский – СПб.: БГТУ «Военмех», 2007. – 230 с.

4. Дорофеев, Р.Ю. Повышение энергоэффективности системы электропитания космического аппарата за счет использования энергии электростатического заряда поверхности космического аппарата в орбитальных условиях эксплуатации / Р.Ю. Дорофеев // Электронный журнал «Труды МАИ». – 2013. – №68.

5. Соустин, Б.П. Системы электропитания космических аппаратов / Б.П. Соустин, В.И. Иванчура, А.И. Чернышев, Ш.Н. Исляев. – Новосибирск: Наука, 1994. – 318 с.

6. Петровичев, М.А. Система энергоснабжения бортового комплекса космических аппаратов / М.А. Петровичев, А.С. Гуртов. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 88 с.

7. Каталог модули sunways фсм.pdf [Электронный ресурс]. – URL: <http://supersvet.su/docs/%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3%20%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D0%B8%20sunways%20%D1%84%D1%81%D0%BC.pdf> (дата обращения: 16.04.2021).

8. hr_1234w.pdf – 308546.pdf [Электронный ресурс]. – URL: <https://media.220-volt.ru/f/a0/ru/docs/308/308546.pdf> (дата обращения: 16.04.2021).

9. ea775b7c69525fae284163d61658d97e.pdf [Электронный ресурс]. – URL: <https://s-ways.ru/upload/iblock/ea7/ea775b7c69525fae284163d61658d97e.pdf> (дата обращения: 16.04.2021).

10. E14-140. Внешний модуль на шину USB 1.1. Библиотека Lusbari. Windows. Руководство программиста. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.lcard.ru/download/e14_440_users_guide.pdf (дата обращения: 16.04.2021).

11. ACS712 Datasheet PDF – Datasheet4U.com [Электронный ресурс]. – URL: <https://datasheet4u.com/datasheet-pdf/AllegroMicroSystems/ACS712/pdf.php?id=570845> (дата обращения: 16.04.2021).

12. datasheet1.pdf [Электронный ресурс]. – URL: <https://robu.in/wp-content/uploads/2017/05/datasheet1.pdf> (дата обращения: 16.04.2021).

13. Elitech мм 100 Инструкция по эксплуатации онлайн [1/1] [Электронный ресурс]. – URL: https://mcgrp.ru/files/viewer/218324/1#navigate_bar (дата обращения: 16.04.2021).

УДК 629.78 (075)

Пупков Е.А.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЧАСТОТНО-КОНТРАСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКОЙ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ С УЧЕТОМ РАСФОКУСИРОВКИ

Проектирование космических аппаратов (КА) оптико-электронного наблюдения поверхности Земли на начальном этапе включает в себя выбор параметров оптико-электронного телескопического комплекса (ОЭТК), зависящих от множества других проектных параметров КА. Этот процесс является итерационным, включающим в себя этапы определения проектных параметров космического аппарата, их корректировку, выбор конкретных систем и т.д. Одними из основных показателей являются линейное разрешение на местности (ЛРМ), ширина полосы захвата, ширина полосы обзора. При проведении проектных расчётов по определению линейного разрешения на местности можно использовать различные методические подходы, одним из которых является подход, основанный на анализе частотно-контрастных характеристик (ЧКХ) оптических систем [1-5]. Суть этого подхода заключается в определении предельно пропускаемой частоты оптической системой, соответствующей точке пересечения кривой наложенного контраста изображения результирующей функции ЧКХ, и порогового контраста. Линейное разрешение на местности, в свою очередь, связано с предельно пропускаемой частотой оптической системы (ОС) (через высоту полёта КА, фокусное расстояние, диаметр ОС, размеры пикселя и др. [1, 5]).

В технической литературе представлены различные подходы к оценке ЧКХ отдельных звеньев и космического телескопического комплекса в целом [1–5 и др.]. В них рассматриваются различные формы зависимостей и ограничений для