

Розробка ресурсозберігаючої системи електроживлення наносупутників формату CubeSat з терморегулюючими стільниковими каркасами сонячних батарей»

Разработка ресурсосберегающей системы электропитания наноспутников формата CubeSat с терморегулирующими сотовым каркасами солнечных батарей

Development of resource saving system of power supply of cubeSat nano-satellites with thermal control solar cells

- 1. Номер державної реєстрації теми - 0114U001629,**
- 2. Науковий керівник – к.т.н., н.с. Коваленко Є.Ю., Коваленко Евгений Юрьевич, Kovalenko Yevgen Y.**

3. Суть розробки, основні результати.

(укр.)

В результаті роботи створена енергоощадна система електроживлення освітрянського космічного апарату - наносупутника (НС) PolyITAN-2 формату 2U «CubeSat» при розв’язанні важливої прикладної задачі - натурних вимірів наносупутником параметрів нижньої термосфери Землі за міжнародним проектом «QB50».

Заощадження енергії є необхідна умова тривалого терміну функціонування НС.

Проведено дослідження методів оптимізації формування вихідних даних для циклограм роботи підсистеми керування та контролю електроживлення з урахуванням обмежень по енергії для кожної з підсистем електронної платформи та розроблені засоби для максимізації запасу енергії наносупутника.

Розроблені методи оптимізації забезпечення запасу енергії наносупутника при мінімізації енергетичних витрат, а також створені алгоритми побудови циклограм системи електроживлення, враховуючи енергоспоживання НС одночасно на усіх відрізках часу його знаходження на орбіті.

Основні завдання, які вирішені під час виконання роботи для досягнення мети:

- 1) розробка принципових та функціональних схем керування та контролю електронної плати для підсистем генерації, зберігання й перетворення електроенергії;
- 2) розводка та виготовлення електронних плат систем електроживлення та розробка їх програмного забезпечення;
- 3) розробка циклограм управління з наступною видачею в підсистему команд управління;
- 4) забезпечення теплових режимів елементів систем електроживлення НС в умовах дії космічного простору;
- 5) імітаційне моделювання системи електроживлення для перевірки і налаштування підсистем НС та їх програмного забезпечення.
- 6) розробка програмного забезпечення для тестування системи;
- 7) комплексні тести удосконаленої системи електрозабезпечення разом з іншими системами супутника;
- 8) автономні та комплексні наземні випробування удосконаленої системи електрозабезпечення в термокамері в умовах впливу космічних факторів.
- 9) проведено практичну перевірку та експлуатацію системи в складі наносупутника на околотериторії орбіті.

(рос.)

В результате работы создана энергосберегающая система электропитания университетского космического аппарата - наноспутника (НС) PolyITAN-2 формата 2U CubeSat при решении важной прикладной задачи - натурных измерений наноспутником параметров нижней термосферы Земли в международном проекте «QB50».

Экономия энергии есть необходимое условие продолжительного срока функционирования НС.

Проведены исследования методов оптимизации формирования исходных данных для циклограмм работы подсистемы управления и контроля электропитания с учетом ограничений по энергии для каждой из подсистем электронной платформы и разработаны средства для максимизации запаса энергии наноспутника.

Разработаны методы оптимизации обеспечения запаса энергии наноспутника при минимизации энергетических затрат, а также созданы алгоритмы построения циклограмм системы электропитания, учитывая энергопотребление НС одновременно на всех отрезках времени его нахождения на орбите.

Основные задачи, которые решены во время выполнения работы для достижения цели:

- 1) разработка принципиальных и функциональных схем управления и контроля электронной платой для подсистем генерации, хранения и преобразование электроэнергии;
- 2) разводка и изготовление электронных плат систем электропитания и разработка их программного обеспечения;
- 3) разработка циклограмм управления со следующей выдачей в подсистему команд управления;
- 4) обеспечение тепловых режимов элементов систем электропитания НС в условиях действия космического пространства;
- 5) имитационное моделирование системы электропитания для проверки и налаживание подсистем НС и их программного обеспечения.
- 6) разработка программного обеспечения для тестирования системы;
- 7) комплексные тесты усовершенствованной системы электроснабжения совместно с другими системами спутника;
- 8) автономные и комплексные наземные испытания усовершенствованной системы электроснабжения в термокамере в условиях влияния космических факторов.
- 9) проведена практическая проверка и эксплуатация системы в составе наноспутника на околоземной орбите.

(англ.)

As a result of the work, an energy saving power supply system was created for the university space vehicle - nanosatellite (NS) PolyITAN-2 of the 2U CubeSat format when solving an important applied task - full-scale nanosatellite measurements of the parameters of the lower Earth thermosphere in the international project "QB50".

Energy saving is a necessary condition of long period of functioning of NS.

Research was conducted on optimization methods for generating initial data for the cyclograms of the operation of the power management and control subsystem, taking into account energy limitations for each of the subsystems of the electronic platform, and means were developed to maximize the nanosatellite energy reserve.

Methods for the nanosatellite energy reserve provision optimizing while minimizing energy costs have been developed, and algorithms for constructing the cyclograms of the power supply system have been created, taking into account the energy consumption of the NS simultaneously in all the time intervals its location in orbit.

Primary goals which are solved during performance of work for purpose achievement:

- 1) development of basic and functional circuits for control and monitoring of electronic cards for subsystems of generation, storage and conversion of electric power;
- 2) wiring and manufacturing of electronic boards of power supply systems and development of their software;
- 3) development of control schedules with the following issuance to the control command subsystem;
- 4) maintenance of thermal modes of elements of systems of power supplies NS in the conditions of space action;
- 5) simulation of the power supply system for verification and adjustment of the NA subsystems and their software.
- 6) development of software for testing the system;

- 7) complex tests of the improved power supply system with other satellite systems;
- 8) autonomous and complex ground tests of an improved power supply system in a thermal chamber under the influence of cosmic factors.
- 9) practical testing and operation of the system as part of a nanosatellite in a near-earth orbit.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.

Патент - Патент України на корисну модель "Наносупутник"- Рассамакін Б.М., Байсков М.Ф., Остапчук С.В., Хайрмасов С.М., Першин М.А., Рассамакін А.Б., Коваленко Є.Ю, Смаковский Д. С. - 25.09.2014, № 93098.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Результати розробки відповідають світовому рівню у класі наносупутників формату Cubesat за рахунок створення нових оригінальних систем електрозабезпечення, а по масо-габаритним характеристикам, енергоефективності та ККД на рівні найближчих світових аналогів (на грудень 2017 р. наносупутник POLYITAN-2-SAU на орбіті серед 14 активних наносупутників з 36 запущених за міжнародним проектом QB50).

Відмінні риси студентського наносупутника НТУУ «КПІ» і його перевага над іншими подібними конструкціями полягають також в використанні стільниково-панельних конструкцій, як теплозахисних, радіаційно-захисних екранів та, одночасно, як базових конструкцій для сонячних батарей.

6. Економічна привабливість для просування на ринок

Робота дозволяє забезпечити потреби ринку космічних послуг, а також установ та підприємств різних галузей народного господарства в нових даних про характеристики термосфери Землі.

Малобюджетний проект наносупутника може бути реалізований у форматі Cubesat 2U при фінансуванні до 80000 євро (пускові послуги розраховуються окремо - орієнтовно не більше 100000 євро).

Проект може бути реалізований протягом 1-1,5 року.

Результати роботи використовуються в проекті КА"МІКРОСАТ"(ДКАУ, Україна) та міжнародному проекті QB50 (ESA, Бельгія) у вигляді дослідних зразків стільникових панелей зі створеними терморегулюючими покриттями та льотної моделі НС POLYITAN-2-SAU. Льотна модель наносупутника POLYITAN-2-SAU, по письмовому договору з Інститутом Фон Кармана міста Брюссель (Бельгія) запущена на навколосемну орбіту з Міжнародної космічної станції 26.05.2017 р. (на грудень 2017 р. наносупутник POLYITAN-2-SAU на орбіті серед 14 активних наносупутників з 36 запущених за міжнародним проектом QB50).

7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).

Робота дозволяє користувачам отримувати цінну орбітальну телеметричну інформацію, яка може бути корисною для установ та підприємств різних галузей народного господарства держави або міжнародних організацій, сільського та лісового господарства, МНС, метеослужби та у космічній галузі: Державне космічне агентство (ДКАУ), Державне підприємство КБ «Південне» м. Дніпро

Результати роботи використовуються в проекті КА"МІКРОСАТ"(ДКАУ, Україна) у вигляді дослідних зразків стільникових панелей зі створеними терморегулюючими покриттями.

8. Стан готовності розробки.

Створена енергоощадна система електроживлення освітрянського космічного апарату. Розроблені та виготовлені діючі зразки обладнання, відпрацьовані відповідні технології і розроблені технологічні рекомендації щодо ефективного застосування експериментального електронного обладнання для наносупутників формату Cubesat.

9. Існуючі результати впровадження.

Проведені необхідні наземні випробування. Проведено запуск наносупутника на навколосезну орбіту. Проведені орбітальні випробування. Проводиться експлуатація обладнання на орбіті, радіозв'язок, прийом телеметричної інформації та керування з наземного центру. Відбувається обмін інформацією та міжнародне співробітництво в рамках міжнародного проекту QB50.

Результати роботи використовуються в проекті КА "МІКРОСАТ" (ДКАУ, Україна) та міжнародному проекті QB50 (ESA, Бельгія) у вигляді дослідних зразків стільникових панелей зі створеними терморегулюючими покриттями та льотної моделі НС POLYITAN-2-SAU.

10. Назва організації, телефон, E-mail

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Теплоенергетичний факультет НТУУ «КПІ», кафедра атомних електричних станцій і інженерної теплофізики.

тел. (044) 204-83-66, bmrass@gmail.com

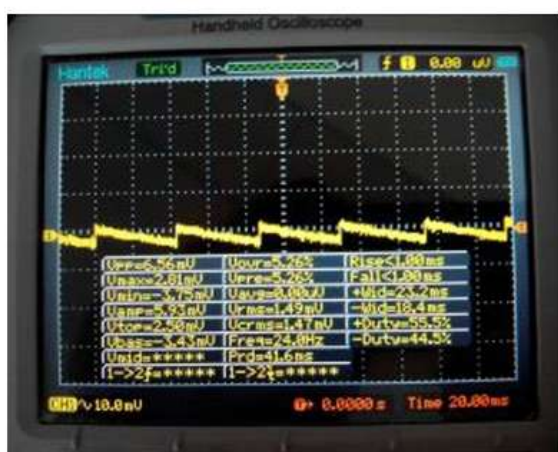
11. Фото розробки



Загальний вигляд НС



Вимірювання параметрів плати системи електроживлення наносупутника



Перевірка входних та вихідних перетворювачів та системи в цілому (канал-шина 5 V)



Наземні випробування НС у термовакuumній камері

12. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

1.	Boris Rassamakin, Nikolai Baiskov, Segii Ostapchuk, Eugen Kovalenko, Sergii Khairnasov, Eugen Lanevsky, Andriy Rassamakin, Viktor Khominich, Oleksandr Chaplygin, Valeriv Solowov. Thermal vacuum test of nano-satellite PolyITAN-2-SAU. 2016 International Conference on Electronics and
----	---

	Information Technology (EIT), Odessa, 2016, pp. 1-4.
2.	Boris Rassamakin, Sergii Khairnasov, Anna Anisimova. Thermal performance of aluminium grooved heat pipes. 2016 International Conference on Electronics and Information Technology (EIT), Odessa, 2016, pp. 1-4.
3.	University nano-satellites POLYITAN-1 В.М. Rassamakin, N.F. Baiskov, S.V. Ostapchuk, N.A. Pershin, R.V. Antipenko, E.Y. Kovalenko. Конференція. Турція. COSPAR. 2016 р.
4.	С.М. Хайрнасов, Б.М. Рассамакин, Е.Н. Письменный. Теплообмен в зоне испарения алюминиевых аммиачных тепловых труб. Наукові вісті, №6. 2016 р.- 9с.
5.	Сергій Манісович Хайрнасов, Борис Михайлович Рассамакин, Євгеній Сергійович Алексеїк, Анна Андріївна Анісімова. Performance Characteristics of Aluminum Thermosyphon for PVT Solar Collector . Наукові вісті, збірник №6. 2016 р.- 9с.
6.	Олександр Сергійович Цибенко, Борис Михайлович Рассамакин, Антон Олексійович Рибалка. Міцнісний аналіз наносупутника Polvitap-2 при квазістатичних перевантаженнях на етапі виведення. Вісник КПІ ім. Ігоря Сікорського. Серія машинобудування №3 (78). 2016р., 8с.
7.	Б.М. Рассамакин, М.Е. Ильченко, Н.Ф. Байсков, С.В. Остапчук, Е.Ю. Коваленко, Н.М. Бендасюк, Е.В. Ланевский, В.И. Хоминич. Миссия наноспутника POLYITAN-2-SAU в международном проекте QB50. 17 Українська конференція з космічних досліджень Одеса. 2017 р.
8.	Результаты термовакuumных и динамических испытаний наноспутника POLYITAN-2-SAU стандарта CUBESAT U2 Б.М. Рассамакин, Н.Ф. Байсков, С.В. Остапчук, Е.Ю. Коваленко, М.О. Лозовий, А.А Рыбалко, Е.В. Ланевский, В.И. Хоминич. 6 Международная конференция космические технологии настоящее и будущее. Днепр. 2017
9.	Миссия наноспутника POLYITAN-2-SAU в международном проекте QB50. Б.М. Рассамакин, М.Е. Ильченко, Н.Ф. Байсков, С.В. Остапчук, Е.Ю. Коваленко, М.О. Лозовий, Е.В. Ланевский, В.И. Хоминич. //6 Международная конференция космические технологии настоящее и будущее. Днепр. 2017.
10.	І.С.Старовіт, студент; Б.М.Рассамакин, к.т.н.; А.А. Шевчук, студент. Особливості і результати теплового моделювання наносупутника стандарту CubeSat PolyITAN-3. XIX Международная молодежная научно-практическая конференция "Человек и Космос", Днепр, 2017.
11.	Рассамакин Б.М. и др. А.А. Напряженно-деформированное состояние наноспутника POLYITAN-2 при квазитических перегрузках на этапе выведения // Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування №3 (78). 2016 http://journal.mmi.kpi.ua/article/viewFile/70691/84431
12.	Б.М. Рассамакин и др. Теплообмен в зоне испарения аммиачных алюминиевых тепловых труб. Наукові вісті НТУУ «КПІ», с. 14 Киев 2017 http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?i21dbn=link&p21dbn=ujrn&z21id=&s21ref=10&s21cnr=20&s21stn=1&s21fmt=asp_meta&c21com=s&2_s21p03=fil=&2_s21str=nvkpi_2017_1_4
13.	В. Rassamakin и др. Thermal Vacuum Test of Nano-Satellite PolyITAN-2-SAU. 6 Міжнародна конференція «Космічні технології: сьогодні – майбутнє». Днепр.- 2016
14.	Б.М. Рассамакин и др. Наноспутник PolyITAN-1: на околоземной солнечно-синхронной орбите 24 месяца...// 16-я Украинская конференция по космическим исследованиям. Одесса 2016
15.	В. Rassamakin и др. Thermal Vacuum Test of Nano-Satellite PolyITAN-2-SAU Heat Pipes Laboratory, National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Одесса. - 2016
16.	Б.М. Рассамакин и др. Миссия наноспутника POLYITAN-2-SAU в международном проекте QB50 6 Міжнародна конференція «Космічні технології: сьогодні – майбутнє» Днепр 2017

13. Ключові слова до розробки