

Фізичне моделювання та дослідження характеристик підсистем навігації, орієнтації та зв'язку освітянського наносупутника формату CubeSat

Физическое моделирование и исследование характеристик подсистем навигации, ориентации и связи образовательного наноспутника формата CubeSat

Physical modelling and research of navigation, orientation and communication subsystems characteristics of the CubeSat format educational nanosatellite

1. **Номер державної реєстрації** – 0114U001629, номер реєстрації в університеті - №2732-п.

2. Науковий керівник:

старший науковий співробітник, кандидат технічних наук Рассамакін Борис Михайлович.
старший научный сотрудник, кандидат технических наук Рассамакин Борис Михайлович.
Senior Researcher, Candidate of Technical Science Rassamakin Boris Mikhailovitch

3. Суть розробки.

(укр.)

Об'єкт дослідження - освітянський наносупутник (далі по тексту НС) формату 2U CubeSat.

Предмет дослідження – підсистема навігації для НС на навколоземній орбіті з приймачем GPS/ГЛОНАСС, підсистема орієнтації НС, підсистема зв'язку НС з наземною станцією за форматом обміну даними AX.25 і BPSK модуляцією.

Метою роботи є розробка підсистем навігації, орієнтації та зв'язку НС методами фізичного моделювання та експериментального дослідження основних параметрів підсистем.

Основні завдання, які вирішувались для досягнення вищевказаної мети, полягали у розробці високоточних підсистем навігації (визначення: швидкості - 0,05 м/с, висоти -5 м), орієнтації і зв'язку, які можна використовувати як уніфіковані підсистеми для різних конструкцій малогабаритних космічних апаратів. В тому числі, забезпечення збору телеметрії на борту НС, її перетворення, збереження результатів у власному запам'ятовуючому пристрої з наступною передачею інформації в інші підсистеми, як у реальному часі, так і з тимчасовою затримкою.

Отримані наступні принципово нові цінні наукові результати та нові науково-технічні рішення:

- фізична модель електронної платформи НС з підсистемами навігації, орієнтації та зв'язку ;

- математична модель інтегрування траєкторії польоту НС з використанням вимірювань ГЛОНАСС/GPS приймача, уточнення траєкторії польоту супутника ;

- розроблені високоточні підсистеми навігації (визначення: швидкості - 0,05 м/с, висоти -5 м), орієнтації і зв'язку, які можна використовувати як уніфіковані підсистеми для різних конструкцій малогабаритних космічних апаратів. Це дозволить удосконалити основні технічні показники підсистем навігації, орієнтації та зв'язку НС за рахунок використання високоточного приймача GPS/GLONASS сигналів, виробленого в Україні. Передача даних НС через послідовні інтерфейси RS-485, RS-422, RS-232 без використання спеціалізованих протоколів обміну даними не дає змогу оцінити кількість втрачених пакетів та їх цілісність. Саме тому були реалізовані необхідні протоколи для роботи з GPS/ГЛОНАСС приймачем СН-4706, та комунікаційний протокол для обміну даними з іншими підсистемами, що будуть встановлені на борту, які дають змогу обмінюватись актуальними даними вчасно і з мінімальними втратами;

- розроблено нову модель теплового стану основних систем та загалом НС, що враховує положення супутника на орбіті, теплові навантаження, що діють на нього при цьому, та генерацію тепла окремими елементами систем;

- отримані нові експериментальні дані наземних досліджень системи забезпечення теплових режимів інженерної моделі наносупутника, його елементів та моделі супутника в умовах дії космічних факторів;

- розроблені науково-технічні рекомендації по моделюванню підсистем зв'язку, навігації та орієнтації наносупутника POLYITAN-2-SAU;

- отримано нові експериментальні дані теплотехнічних характеристик основних підсистем супутника. Розроблено програму та методику випробування наносупутника за умов впливу основних негативних факторів космічного простору з урахуванням його орієнтації на орбіті;

- програмне забезпечення для систем навігації, орієнтації та зв'язку НС;

- розроблено ескізну конструкторську документацію на льотну модель студентського наносупутника за міжнародним проектом QB50 .

Габарити льотної моделі 100x100x225 мм, вага близько 2,1 кг, максимальна споживана потужність – не більше 2,4 Вт. Електроживлення забезпечено за допомогою трьох акумуляторів та 4-х сонячних батарей. В підсистемі радіозв'язку наносупутника використано радіотрансівер з частотою 437,95 МГц (вниз) і 145,5 МГц (вверх) з модуляцією BPSK, а також розроблена підсистема навігації ГЛОНАСС/GPS з двома антенами для приймання навігаційних сигналів.

Вказані нові науково-технічні результати дозволяють створити принципово нові конструкції та підсистеми малих космічних апаратів, в тому числі наносупутників, та використати їх для потреб господарства України

(Рос.)

Объект исследования - образовательный наноспутник (далее по тексту - НС) формата 2U CubeSat.

Предмет исследования – подсистема навигации для НС на околоземной орбите с приемником GPS/ГЛОНАСС, подсистема ориентации НС, подсистема связи НС с наземной станцией за форматом обмена данными AX.25 и BPSK модуляцией.

Целью работы является разработка подсистем навигации, ориентации и связи НС методами физического моделирования и экспериментального исследования основных параметров подсистем.

Основные задачи, которые решались для достижения вышеуказанной цели, состояли в разработке **высокоточных** подсистем навигации (определение: скорости - 0,05 м/с, высоты -5 м), ориентации и связи, которые можно использовать как унифицированные подсистемы для разных конструкций малогабаритных космических аппаратов. В том числе, обеспечение сбора телеметрии на борту НС, ее преобразование, сохранение результатов в собственном запоминающем устройстве с последующей передачей информации в другие подсистемы, как в реальном времени, так и с временной задержкой.

Получены следующие принципиально новые ценные научные результаты и новые научно-технические решения:

- физическая модель электронной платформы НС с подсистемами навигации, ориентации и связи ;

- математическая модель интегрирования траектории полета НС с использованием измерений ГЛОНАСС/GPS приемника, уточнение траектории полета спутника;

- разработаны высокоточные подсистемы навигации (определение: скорости - 0,05 м/с, высоты -5 м) и ориентации , которые можно использовать как унифицированные подсистемы для разных конструкций малогабаритных космических аппаратов. Это позволит усовершенствовать основные технические показатели подсистем навигации и ориентации НС за счет использования высокоточного приемника GPS/GLONASS сигналов, произведенного в Украине. Передача данных НС через последовательные интерфейсы RS-485, RS-422, RS-232 без использования специализированных протоколов обмена данными не дает возможность оценить количество утраченных пакетов и их целостность. Именно поэтому были реализованы необходимые протоколы для работы с GPS/ГЛОНАСС приемником СН-4706, и коммуникационный протокол для обмена данными с другими

подсистемами, которые будут установлены на борту, которые дают возможность обмениваться актуальными данными своевременно и с минимальными потерями;

- разработана новая модель теплового состояния основных систем и в целом НС, которая учитывает положение спутника на орбите, тепловые нагрузки, которые действуют на него при этом, и генерацию тепла отдельными элементами систем;

- получены новые экспериментальные данные наземных исследований системы обеспечения тепловых режимов инженерной модели наноспутника, его элементов и модели спутника в условиях действия космических факторов;

- разработаны научно-технические рекомендации по моделированию подсистем связи, навигации и ориентации наноспутника POLYITAN-2-SAU;

- получены новые экспериментальные данные теплотехнических характеристик основных подсистем спутника. Разработана программа и методика испытания наноспутника в условиях влияния основных отрицательных факторов космического пространства с учетом его ориентации на орбите;

- разработано программное обеспечение для систем навигации и ориентации и связи НС.

Разработана эскизная конструкторская документация на летную модель студенческого наноспутника для международного проекта QB50 .

Габариты летной модели 100x100x225 мм, вес около 2,1 кг, максимальная потребляемая мощность - не больше 2,4 Вт. Электропитание обеспечено с помощью трех аккумуляторов и 4-х солнечных батарей. В подсистеме радиосвязи наноспутника использован радиотрансивер с частотой 437,95 МГц (вниз) и 145,5 МГц (вверх) с модуляцией BPSK, а также разработана подсистема навигации ГЛОНАСС/GPS с двумя антеннами для приёма навигационных сигналов.

Указанные новые научно-технические результаты позволяют создать принципиально новые конструкции и подсистемы малых космических аппаратов, в том числе наноспутников, и использовать их для нужд хозяйства Украины

(Англ.)

Development essence.

Object of research is the educational nanosatellite (further NS) a format 2U CubeSat.

Objects of research are a subsystem of navigation for NS on an earth orbit with receiver GPS/GLONASS, a subsystem of orientation of NS, a subsystem of communication of NS to ground station with a format of data interchange AX.25 and BPSK modulation.

The operation purpose is development of subsystems of navigation, orientation and communication of NS by methods of physical modeling and an experimental research of the main parameters of subsystems.

The primary goals which were decided for achievement of the above-stated purpose, consisted in development of high-precision subsystems of navigation (determination: speeds - 0,05 m/s, altitudes-5m), orientations and communications which can be used as unitized subsystems for different constructions of small-size space ships. Including, their are support of collection of telemetry onboard NS, its conversion, saving of results to own memory with a subsequent information transfer to the other subsystem, both in real time, and with a time delay.

Namely, following in essence new valuable scientific results and new technological decisions are received:

- Physical model of an electronic platform of NS with subsystems of navigation, orientation, communication;

- A mathematical model of integration of flight trajectory of NS with usage of measurements GLONASS/GPS of the receiver, refinement of flight trajectory of the satellite,

- Mathematical model of forecasting of communication sessions onboard NS;

- High-precision subsystems of navigation (determination are developed: speeds - 0,05 m/s, altitudes-5), orientations and communications which can be used as unitized subsystems for different constructions of small-size space ships. It will allow to improve the main technical

performances of subsystems of navigation, orientation and communication of NS by the usage of high-precision receiver GPS/GLONASS of signals produced in Ukraine.

- NS data transmission through serial interfaces RS-485, RS-422, RS-232 without usage of specialized protocols of a data interchange does not give the chance to estimate an amount of the lost packets and their integrity. For this reason necessary protocols for operation with GPS/GLONASS receiver CH-4706, and the communication protocol for a data interchange with other subsystems which will be installed on board which give the chance to exchange actual data in time and minimum loss have been implemented.

- The new model of a thermal status of main systems and generally NS which considers a satellite position in an orbit, thermal loads which act on it, and heat generation by separate elements of systems is developed.

- New experimental data of terrestrial researches of system of support of thermal modes of the nanosatellite engineering model, its elements and model of the satellite in the conditions of action of space factors are received;

- Technological recommendations about modeling of subsystems of communication, navigation and orientation for the nanosatellite POLYITAN-2-SAU are developed

- New thermal characteristics experimental data of the main subsystems of the satellite are received. The program and a nanosatellite testing technique in the conditions of influence of the main negative factors of a space taking into account its orientation in an orbit is developed.

- The software is developed for systems of navigation, orientation and NS communication.

- The software is developed for nanosatellite general control.

- On student's nanosatellite flight model the sketch design documentation is developed for the international project QB50 with following characteristics.

- Overall dimensions of flight model 100x100x225 the mm, weight about 2,1 kg, the maximum power consumption - is no more 2,4 W. Power supplies are supplied by means of three accumulators and 4 solar batteries. In a nanosatellite radio communication subsystem the radio transceiver with frequency of 437,95 MHz (downwards) and 145,5 MHz (upwards) with modulation BPSK is used, and also with two antennas the subsystem of navigation GLONASS/GPS is developed for reception of navigation signals.

The indicated new science and technical results allow to create in essence new constructions and subsystems of small space ships, including nanosatellites, and to use them for needs of an economy of Ukraine.

4. По результатам роботи отримані:

- 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.

- патенти (свідоцтв авторського права) інших держав:

- Australian New Innovation Patent Application No 2014100354 // Combined Photovoltaic-Thermal Solar Collector / Yakov Elgart, Boris Rassamakin, Sergii Khairnasov, Michel Dusheiko, Andrii Rassamakin and Genadii Frolov. - 7 p.; 10.04.2014.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Отримані результати не мають вітчизняних аналогів, а рівень розробки перевищує світовий, що підтверджує наступне порівняння основних показників підсистеми навігації наносупутника POLYITAN-2-SAU та міжнародних виробників – Surrey Satellite Technology Ltd (Англія):

1) кількість каналів приймача системи навігації НС= (24) перевищує світові =(12);

2) енергоспоживання в номінальному режимі навігації, не більше 0,9 Вт, замість існуючих – 1,0 Вт... 1,6 Вт;

3) похибка визначення:

- швидкості НС POLYITAN-2-SAU на орбіті, 0,05 м/с - замість 0,15 ... 0,25 м/с;

- часу, не більше 40 нс,

- замість 500 нс;

- висоти, 5 м,

- замість 10 м;

- координат місця перебування, 3 м,

- замість 15 м.

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

6. Економічна привабливість для просування на ринок .

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 НТУУ «КПІ» POLYITAN-2-SAU, по письмовому договору з Інститутом Фон Кармана міста Брюссель (Бельгія Нідерланди,) буде розміщена в контейнері для запуску та запущена на навколосезну орбіту з Міжнародної космічної станції у 2016 році.

7. Потенційні користувачі: космічна галузь, Державне космічне агентство (ДКАУ), Державне підприємство КБ «Південне» м. Дніпропетровськ.

8. Стан готовності розробки: виготовлена інженерна експериментальна модель наносупутника, ескізна конструкторська документація на льотну модель, яка буди підготовлена для запуску на навколосезну орбіту.

9. Існуючі результати впровадження.

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

Одержані результати конкурентно спроможні і будуть використані при подальших роботах по розробці і виготовленню модифікацій наносупутника НТУУ «КПІ», як платформ для різних космічних експериментів, а також при виробництві інших виробів космічного призначення, з метою підвищення технічного рівня негерметичних космічних апаратів: покращення їх технічних характеристик та підвищення терміну активного існування.

Отримані результати роботи мають інвестиційну привабливість.

10. Форма участі інвестора - договірні відносини.

Спонсори проекту: Kalinin Invention Fund, Боинг –Україна

11. Обсяг інвестицій:

11.1. Фестиваль інноваційних проектів «Sikorsky Challenge»

11.1.1 Kalinin Invention Fund,

Проект № 142 «Студентський наносупутник PolyITAN-2» Сума інвестицій проекту – 780 000 грн. (35 000 \$)

11.1.2. Боинг –Україна: - «Студентський наносупутник PolyITAN-2» (Рассамакін, Байсков, Остапчук, Коваленко, Бендасюк, Пінчук) 220 000 грн.(10 000 \$)

11.1.3. ТОВ «Технології природи». - «Студентський наносупутник PolyITAN-2» (Рассамакін, Байсков, Остапчук, Коваленко, Бендасюк, Пінчук) – 780 000 грн.;

11.2. Також отримані науково-технічні результати можуть бути використані організаціями та підприємствами, що займаються дослідженнями та розробками в космічній галузі, біології, геології, метеорології, наук про Землю.

А саме: Національне космічне агентство України (НКАУ) та його підприємства, державне підприємство ДП «КБ Південне» ім. М.К. Янгеля (Україна), Інститут іоносфери НАН і МОН України, Державна служба геодезії, картографії та кадастру, Державний комітет гідрометеорології, Державний комітет лісового господарства України, Інститут проблем матеріалознавства НАНУ, Центр аерокосмічного навчання молоді НКАУ, м. Дніпропетровськ

12. Мета інвестицій

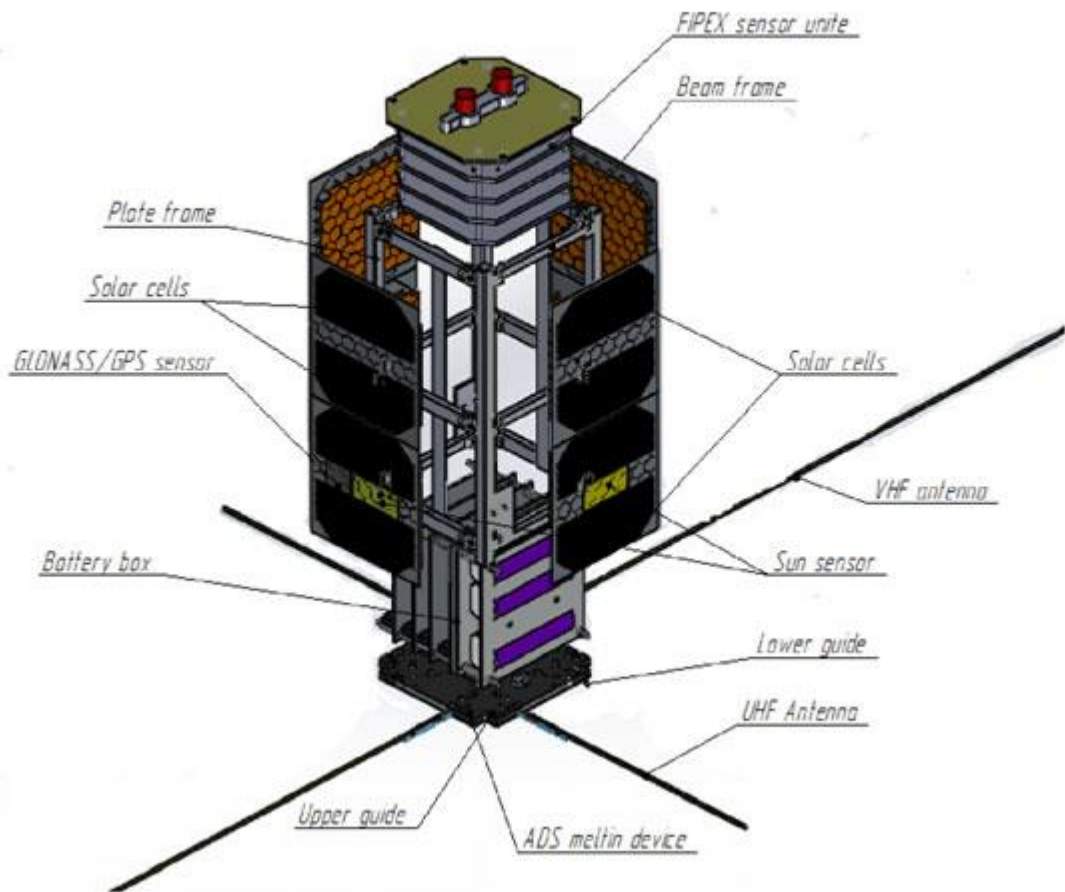
- розширення бізнесу компаній Kalinin Invention Fund, Боинг –Україна.

13. Назва підрозділу: кафедра атомних електричних станцій та інженерної теплофізики Теплоенергетичного факультету. Телефон 406-83-66, e-mail: bm rass@gmail.com.

14. Фото, схеми, слайди презентації розробки в електронному вигляді.



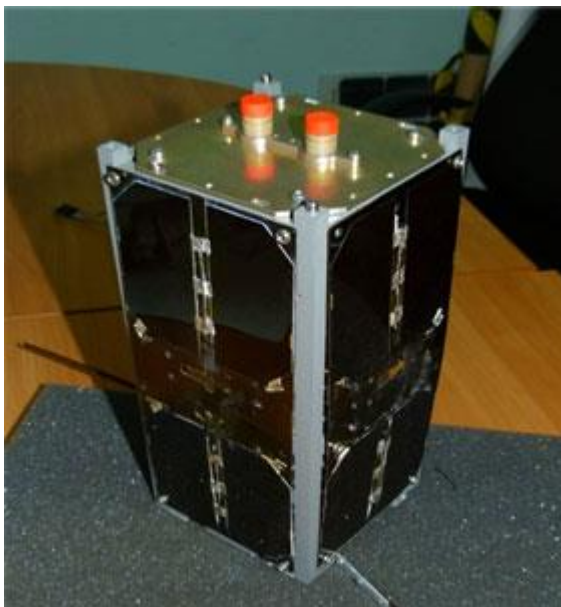
Макетування, перевірка геометричних розмірів і механічних інтерфейсів при розробці наносупутника «PolyITAN-2-SAU» (інженерна модель).



Склад наносупутника POLYITAN-2-SAU.



Монтаж корисного навантаження FIPEX наносупутника POLYITAN-2-SAU.



Зовнішній вигляд інженерної моделі наносупутника НТУУ «КПІ» POLYITAN-2-SAU для дослідження складу термосфери Землі на висотах 380-90 км.

15. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання:

15.1. Коваленко Є.Ю., Оніпко О.Ф., Способи безпечного вимкнення елементів та балансування заряду для послідовно з'єднаних акумуляторних батарей. «Новини Енергетики», №7, 2014

15.2. Коваленко Є.Ю. Максимізація запасу енергії за рахунок зміни алгоритмів керування у об'єктах космічної техніки. «Новини Енергетики», №8, 2014

15.3. С.М. Хайрнасів, Б.М. Рассамакін, Е.В. Быков. Исследование тепловых режимов среднетемпературного термосифона для систем утилизации теплоты уходящих газов с температурой более 400 0С // Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2014. – №1. – С. 89-95.

15.4. С.М. Хайрнасів, Б.М. Рассамакін, Є. С. Алексеїк, А. А. Анісімова. Робочі характеристики алюмінієвих термосифонів для комбінованого сонячного колектору // Наукові вісті. - 2014. - №4. – С.42-49.

15.5. М.В. Серко, В.И. Мариненко, В.А. Рогачев, С.М. Хайрнасів. Експериментальні дослідження теплообмінника на основі теплових труб, Технологічний аудит та резерви виробництва, 2014, No.3/2(17).

15.6. Сергей Хайрнасів, Владимир Волощук, Андрей Заковоротний, Дмитрий Козак. Оценка эффективности солнечных тепловых коллекторов на основе алюминиевых тепловых труб при реновации старых зданий // MOTROL. - 2014. - Vol. 6. - №4. – С. 211-218.

15.7. Хайрнасів С.М. Анализ эффективности комбинированного солнечного коллектора на основе тепловых труб // Гелиотехника. – 2014. – №1. – С. 15-21.

15.8. С.М. Хайрнасів. Сучасний стан використання теплових труб у сонячних теплових та комбінованих колекторах. Відроджена енергетика. 2015. № 2, с. 42 – 50.

15.9. С.М. Хайрнасів. Використання теплових труб в сонячних енергетичних системах: системи з концентрацією сонячної енергії, сонячні стіни, сонячні плити. Відроджена енергетика. 2015. № 4

15.10. Boris Rassamakin, Sergii Khairnasov, Dmytro Kozak, Anna Anisimova. Sergii Khairnasov, Boris Rassamakin, Dmytro Kozak, Anna Anisimova. Experimental investigations of aluminium thermosyphons for photovoltaic-thermal module. IX Minsk International Seminar "Heat Pipes, Heat Pumps, Refrigerators, Power Sources", Minsk, Belarus, 07-10 September, 2015, с. 70-77.

15.11. Khairnasov S. M., Nikolaenko Yu. E., Rassamakin B. M., Lozovoi M. A. Investigation of characteristics of heat pipes for LED lightning device. IX Minsk International Seminar "Heat Pipes, Heat Pumps, Refrigerators, Power Sources", Minsk, Belarus, 07-10 September, 2015, с. 78-85.

15.12. Іє. Kovalenko, В. Rassamakin, .N. Bayskov Electrical power system of POLYTAN series CUBESAT nanosats . 7th European CubeSat Symposium ,9 – 11 September 2015 ,Liège, Belgium, p.29.

15.13. Б.М. Рассамакін,Н.Ф. Байсков, С.В. Остапчук, А.В. Пинчук, Е.Ю. Коваленко, Е.В.Ланевский, С.М.Хайрнасoв, А.Б. Рассамакін, В.И.Хоминич,Н.М. Бендасюк. ИНЖЕНЕРНАЯ МОДЕЛЬ НАНОСПУТНИКА POLYTAN-2-SAU ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА ТЕРМОСФЕРЫ НА ВЫСОТАХ 380-90 КМ. 15-А УКРАЇНСЬКА КОНФЕРЕНЦІЯ З КОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ, 24 - 28 серпня, 2015 р., ОДЕСА

15.14. Б.М. Рассамакін, Н.Ф. Байсков, С.А. Остапчук, С.М. Хайрнасoв, А.Б. Рассамакін, А.С. Менжега, Н.А. Першин, Р.В. Антипенко, Е.Ю. Коваленко, Д.С. Смаковский, С.Е.Мартенюк , В.И.Хоминич ,М.Г.Душейко. УНИВЕРСИТЕТСКИЙ НАНОСПУТНИК POLYTAN-1: РЕЗУЛЬТАТЫ ЛЕТНЫХ ИСПЫТАНИЙ. 15-А УКРАЇНСЬКА КОНФЕРЕНЦІЯ З КОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ, 24 - 28 серпня, 2015 р., ОДЕСА

15.15. Sergii Khairnasov, Alyona Naumova. Heat Pipes Application in Electronics Thermal Control Systems, *Frontiers in Heat Pipes (FHP)*, 6, 6 (2015), pp. 1-14.

15.16. С.М. Хайрнасoв. Применение тепловых труб в системах обеспечения тепловых режимов РЭА: современное состояние и перспективы. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, 2015, № 2–3, с. 19 – 33.

15.17. Лозовой М.А., Николаенко Ю.Е., Рассамакін Б.М., Хайрнасoв С.М. Исследование рабочих характеристик тепловых труб для светодиодных осветительных приборов. // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*. - 2014. - № 5-6. С. 32-38.

15.18. БАЙСКОВ М.Ф., БУДЬОННИЙ О.В., ДЗЮБА Є.Д., КОВАЛЕНКО Є.Ю., ПРОКОПЕЦЬ М.А. Максимізація запасу енергії у об'єктах космічної техніки. *Технічна електродинаміка*, №5: с.142–144, 2014

15.19. Sergii Khairnasov, Boris Rassamakin, Dmytro Kozak and Alyona Naumova. Buildings Facade Photovoltaic-Thermal Collectors based on Aluminum Heat Pipes, *Journal of Civil Engineering and Architecture Research*, 2014, Vol. 1, No.3, pp. 151 - 156.

16. Ключові слова до розробки:

- Наносупутник, Підсистема навігації, Підсистема орієнтації, Підсистема зв'язку, Формат Cubesat, Теплове моделювання, Стільниково-панельні конструкції.