

Створення та дослідження характеристик університетського наносупутника формату CubeSat для дистанційних спостережень Землі

Создание и исследование характеристик университетского наноспутника формата CubeSat для дистанционных наблюдений Земли

Creating and characteristics research of university CubeSat format nano-satellites for remote observation of the Earth

- 1. Номер державної реєстрації теми - 0117U000455**
- 2. Науковий керівник – к.т.н. с.н.с. Рассамакін Б. М., Рассамакін Б. М., Rassamakin B. M.**

3. Суть розробки, основні результати. (укр.)

Робота присвячена створенню наносупутника (НС) формату Cubesat, 3U шляхом розробки, моделювання та дослідження ефективних службових підсистем до забезпечення корисного навантаження - оптико-електронного сканера зі здатністю зйомки в діапазоні до 30 м при функціонуванні його на орбіті при висоті до 700 км.

Вищевказані роботи виконуються силами студентів, магістрантів, аспірантів та наукових співробітників наступних факультетів: ТЕФ, РТФ, ФЕЛ, ФЕА, ПБФ та ММІ, а також залучити спеціалістів ДКБ „Південне” (м. Дніпропетровськ) у якості консультантів.

В рамках роботи проведено: розробку конструкції наносупутника з використанням стільниково-панельних теплозахисних екранів, терморегулюючих покриттів та мінітеплової труби з метою повного виключення витрат енергії на забезпечення оптимального теплового режиму роботи обладнання супутника; розробку корисного навантаження - оптико-електронного сканера; розробку підсистеми радіозв'язку з високошвидкісним каналом (до 800 Кб/с) «Борт-Земля» та проведення експериментальних наземних випробувань.

В роботі вирішуються ряд прикладних теоретичних задач, які стосуються розробки перспективного класу космічних оптико-електронних систем (ОЕС) дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) видимого діапазону спектру. В рамках роботи виконано обґрунтування складу підсистеми радіозв'язку наносупутника з високошвидкісним каналом (до 800 Кб/с) «Борт-Земля», розробка принципу її побудови, а також розробка програмного забезпечення. Створені фізико-технічні основи роботи та запропоновані нові конструктивно-технологічні рішення виготовлення сонячних батарей з кремнієвими фотоприймачами. Розроблені та апробовані фізико-технічні основи технологій з використанням нанокристалічного кремнію, з метою підвищення експлуатаційних характеристик фото приймачів та покращення радіаційної їх стійкості.

Тематика роботи на сьогоднішній день є актуальною у світі та направлена на використання наносупутників формату Cubesat для дистанційного дослідження Землі та її атмосфери. В роботі отримана точність позиціонування на орбіті до 5 м та зйомки поверхні Землі зі здатністю до 30 м при масі наносупутника до 5 кг, що відповідає рівню світових аналогів.

Об'єкт дослідження і розробки - наносупутник (далі по тексту НС) формату 3 U CubeSat, в тому числі конструкція остова та каркаса сонячних батарей, оптико-електронний сканер, процес формування інформації в космічній телевізійній камері, високошвидкісний радіоканал та приймач сигналів від міжнародних супутникових систем навігації.

Предмет дослідження і розробки є:

- методи та способи мінімізації масо-габаритних параметрів конструкцій наносупутників, методи оптимізації формування вихідних даних для циклограм роботи систем НС з урахуванням обмежень по енергії для кожної з підсистем електронної платформи та засоби для максимізації запасу енергії наносупутника, що дозволить збільшити ресурс функціонування його на орбіті,
- схемотехнічні та конструктивні рішення бортової телевізійної камери для забезпечення заданого просторового та енергетичного розділення,

- схемні рішення оптичних систем сканера та бортового приймального-передавача каналу радіозв'язку,
- підсистема навігації для НС на навколоземній орбіті з приймачем GPS/ГЛОНАСС,
- підсистема орієнтації НС,
- підсистема високошвидкісного зв'язку НС з наземною станцією за форматом обміну даними AX.25 і FSK модуляцією.

(рос.)

Работа посвящена созданию наноспутника (НС) формата Cubesat, 3U путем разработки, моделирования и исследования эффективных служебных подсистем к обеспечению полезной нагрузки - оптико-электронного сканера с разрешением съемки в диапазоне до 30 м при функционировании его на орбите при высоте до 700 км.

Вышеуказанные работы выполняются силами студентов, магистрантов, аспирантов и научных сотрудников следующих факультетов: ТЭФ, РТФ, ФЭЛ, ФЭА, ПСФ и ММИ, а также привлечены специалисты ГКБ "Южное" (г. Днепропетровск) в качестве консультантов.

В рамках работы проведены: разработку конструкции наноспутника с использованием сотовых-панельных теплозащитных экранов, терморегулирующий покрытий и минитепловой трубы с целью полного исключения затрат энергии на обеспечение оптимального теплового режима работы оборудования спутника; разработку полезной нагрузки - оптико-электронного сканера; разработку подсистемы радиосвязи с высокоскоростным каналом (до 800 Кб / с) «Борт-Земля» и проведения экспериментальных наземных испытаний.

В работе решаются ряд прикладных теоретических задач, касающихся разработки перспективного класса космических оптико-электронных систем (ОЭС) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) видимого диапазона спектра. В рамках работы выполнены обоснования состава подсистемы радиосвязи наноспутника с высокоскоростным каналом (до 800 Кб / с) «Борт-Земля», разработка принципа ее построения, а также разработка программного обеспечения. Созданные физико-технические основы работы и предложены новые конструктивно-технологические решения изготовления солнечных батарей с кремниевыми фотоприемниками. Разработаны и апробированы физико-технические основы технологий с использованием нанокристаллического кремния, с целью повышения эксплуатационных характеристик фото приемников и улучшения радиационной их устойчивости.

Тематика работы на сегодняшний день является актуальной в мире и направлена на использование наноспутников формата Cubesat для дистанционного исследования Земли и ее атмосферы. В работе получена точность позиционирования на орбите до 5 м и съемки поверхности Земли с разрешением до 30 м при массе наноспутника до 5 кг, что соответствует уровню мировых аналогов.

Объект исследования и разработки - наноспутник (далее по тексту НС) формата 3 U CubeSat, в том числе конструкция остова и каркаса солнечных батарей, оптико-электронный сканер, процесс формирования информации в космической телевизионной камере, высокоскоростной радиоканал и приемник сигналов от международных спутниковых систем навигации.

Предмет исследования и разработки являются:

- методы и способы минимизации массо-габаритных параметров конструкций наноспутников, методы оптимизации формирования исходных данных для циклограмм работы систем НС с учетом ограничений по энергии для каждой из подсистем электронной платформы и средства для максимизации запаса энергии наноспутника, что позволит увеличить ресурс функционирования его на орбите,
- схемотехнические и конструктивные решения бортовой телевизионной камеры для обеспечения заданного пространственного и энергетического разрешения,
- схемные решения оптических систем сканера и бортового приемного передатчика канала радиосвязи,
- подсистема навигации для ЧС на околоземной орбите с приемником GPS / ГЛОНАСС,
- подсистема ориентации НС,

- підсистема високоскоростної зв'язи НС с наземною станцією по формату обміна даними AX.25 и FSK модуляцією.

(англ.)

The work is devoted to the creation of a nanosatellite (CdS) format Cubesat, 3U by developing, modeling and researching efficient service subsystems to provide a payload - an opto-electronic scanner with a capability of shooting in the range of up to 30 m when it operates in orbit at altitudes up to 700 km.

The above works are carried out by the students of the undergraduate, postgraduate students and research staff of the following faculties: TEF, PTF, FEL, FAA, PBF and MMI, as well as attract specialists of PJSC "Pivdenne" (Dnipropetrovsk) as consultants.

Within the framework of the work carried out: development of the design of a nanosatellite with the use of cellular panel heat shields, thermal regulation coatings and a miniature pipe in order to completely exclude energy costs to ensure optimal thermal mode of operation of the satellite equipment; development of a payload - an opto-electronic scanner; development of the subsystem of radio communication with a high-speed channel (up to 800 Kb / s) "Bort-Land" and carrying out of experimental ground tests.

A number of applied theoretical problems concerning the development of a perspective class of space optoelectronic systems (EOS) of remote sensing of the Earth (RSZ) of the visible range of the spectrum are solved in this work. Within the framework of the work, the substantiation of the composition of the subsystem radio communication of the nanosatellite with the high-speed channel (up to 800 Kb / s) "Bort-Land", the development of the principle of its construction, as well as software development. The physical and technical bases of work were created and new structural and technological solutions for the production of solar cells with silicon photodetectors were proposed. The physical and technical bases of technologies using nanocrystalline silicon have been developed and tested, in order to increase the operational characteristics of photo receivers and improve radiation stability.

The subject of work for today is relevant in the world and is aimed at the use of nanosatellites in the Cubesat format for the remote study of the Earth and its atmosphere. In this work, the accuracy of positioning in orbit up to 5 m and the shooting of the Earth's surface with the ability to 30 m with a mass of a nanosatellite up to 5 kg is obtained, which corresponds to the level of world analogues.

The object of research and development is a nanosatellite (hereinafter referred to as NA) format 3 U CubeSat, including the design of the backbone and skeleton of solar panels, an opto-electronic scanner, the process of formation of information in the space television camera, high-speed radio and receiver signals from international satellite navigation systems.

Subject of research and development are:

- methods and methods for minimizing the mass-dimensional parameters of nanosatellite structures, methods for optimizing the formation of raw data for the cyclograms of the work of the systems of the National Assembly, taking into account energy constraints for each of the subsystems of the electronic platform, and means for maximizing the energy reserve of the nanosatellite, which will increase the resource of its operation in orbit,

- circuit design and design solutions of the on-board television camera to provide a given spatial and energy separation,

- circuit solutions for optical systems of the scanner and on-board receiver-transmitter of the radio communication channel,

- navigation subsystem for the NA in the near-Earth orbit with the receiver GPS / GLONASS, the subsystem of the orientation of the National Assembly,

- subsystem of high-speed communication with the ground station with the AX.25 and FSK modulation data exchange format.

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

Патент №116296 України на корисну модель. МПК (2016.01) G02B 9/34. Ширококутний об'єктив із зменшеною дисторсією. / Сокурєнко В. М., Сокурєнко О. М., Стріха О. Є. (Україна) – Заявл. 19.12.2016; Опубл. 10.05.2017; Бюл. №9.

	US Patent 9,595,139. Current U.S. Class: G07B 15/063. Intern'l Class: G07B 15/06. Universal tolling system and method. / David S. Breed, Vyacheslav Sokurenko. – Appl. No.: 14/814,616; Filed: July 31, 2015; Published: March 14, 2017.
	Бржезицький В.О., Гаран Я.О., Лапоша М.Ю.; Патент «Високочастотний загороджувач», UA 115475: / Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – опубл. 10.11.2017.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Результати відповідають світовому рівню. Створено високоефективну національну космічну систему для наносупутників PolyITAN формату CubeSat в НТУУ КПІ, яка буде забезпечувати дистанційне сканування поверхні Землі з роздільною здатністю до 30 м, яка складається з орбітального сегмента –НС PolyITAN-3, створений з низько бюджетному фінансуванні супутника при умовах до мінімальної ваги та електроживленні та Наземного сегмента- з оптимальної енергії зв'язку та вартості наземного обладнання.

6. Економічна привабливість для просування на ринок.

Вартість реалізації проекту з урахуванням виготовлення, впровадження необхідного обладнання та запуску на орбіту – 300000 євро. Термін впровадження – 1 рік. Окупність за рахунок продажу отриманих даних космічного сканування зацікавленим установам – 5 років.

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

Отримані результати – технічні характеристики приймача GPS/Glonass, конструктивні особливості, ефективна теплопровідність каркасу сонячної батареї та програмне забезпечення циклограми супутника - **будуть використані** при виготовленні модифікацій наносупутників НТУУ «КПІ» для України та закордонних Замовників (фірми ISIS, м. Делфт, Нідерланди), 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 строків активного існування за рахунок:

- проведення фізичних випробувань та досліджень об'єктів космічної техніки (підприємства та університети України);
- впровадження розроблених конкурентоспроможних програм та методик (тепловакуумних програм и методик випробувань КА в проектах ДП «КБ «Південне»);
- впровадження прогнозуючої програми моделювання теплових режимів виробів космічної техніки та електроніки (теплові моделі КА в проектах ДП «КБ «Південне»);

Для використання в розробці тепловізійного сканера космічного базування в рамках «Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2013–2017 роки» до КП СПБ «Арсенал» будуть передані методичні рекомендації по визначенню просторової роздільної здатності передавальних тепловізійних камер.

У ДП НВК «Фотоприлад» (м. Черкаси) та НДІ «Квант» (м. Київ) будуть передані блоки математичної моделі визначення відстані дії тепловізійних систем при заданих ймовірностях та пропозиції по підвищенню ефективності функціонування цих систем.

При виконанні роботи передбачається залучення студентів кафедри мікроелектроніки факультету електроніки НТУУ «КПІ» з метою напрацювання досвіду та підвищення якості освіти. Результати роботи мають інвестиційну привабливість, про що свідчать перемоги на форумі інноваційних проектів "Sikorsky Challenge".

Отримано принципово нові результати при конструюванні наносупутника та використанні в його конструкції нових матеріалів (вуглепластикові сотопанелі) і приладів (відпрацювання та тестування в космосі приймача GPS/Glonass виробництва України). Істотне зниження енерговитрат наносупутника (застосування сотопанелей і мікротеплових труб), сприятиме розвитку галузей наукового приладобудування, матеріалознавства, електроніки та інших споріднених галузей.

Свою зацікавленість у впровадженні науково-технічних результатів роботи офіційно підтвердили такі підприємства: ДКБ «Південне», ТОВ «Навіс-Україна», ISIS (м. Делфт, Нідерланди). Познань, Литва -Курс

Результати роботи можуть бути корисні для застосування в інтересах сільського та лісного господарства, МНС, геології, метеорології та ін..

8. Стан готовності розробки.

Інженерна модель наносупутника PolyITAN-3 для ДЗЗ формату Cubesat, технічна документація (ескізна КД, інструкції та ПМ до випробувань та інш.)

Готова к впровадженню.

9. Існуючі результати впровадження.

На навколоремній орбіті працюють наші наносупутники PolyItan-1 (запуск 2014р.), PolyItan-2 (запуск 2016р), призначення яких – відпрацювання космічних технологій та вивчення складу та стану атмосфери.

10. Назва підрозділу, телефон, e-mail. ТЕФ, каф АЕС і ІТФ

11. Фото розробки.

Наносупутник являє собою малий космічний апарат (штучний супутник Землі), що має вагу близько 3 кг і габарити 100мм x100мм x320мм. Наносупутник складається з підсистем: обробки даних, орієнтації й стабілізації, навігації, телеметрії, електропостачання, приймально-передавальної підсистеми, міжсистемної кабельної мережі й конструкції (несучий каркас та панелі).

Конструкція НС забезпечує механічну сполуку бортової апаратури й всіх елементів супутника в єдине ціле, монтаж кабельної мережі, зачеховку, їхню фіксацію на момент транспортування, виводу на орбіту та приведення в робочий стан на орбіті. Зовнішній вигляд PolyITAN-3 представлений нижче (Рисунок 1)

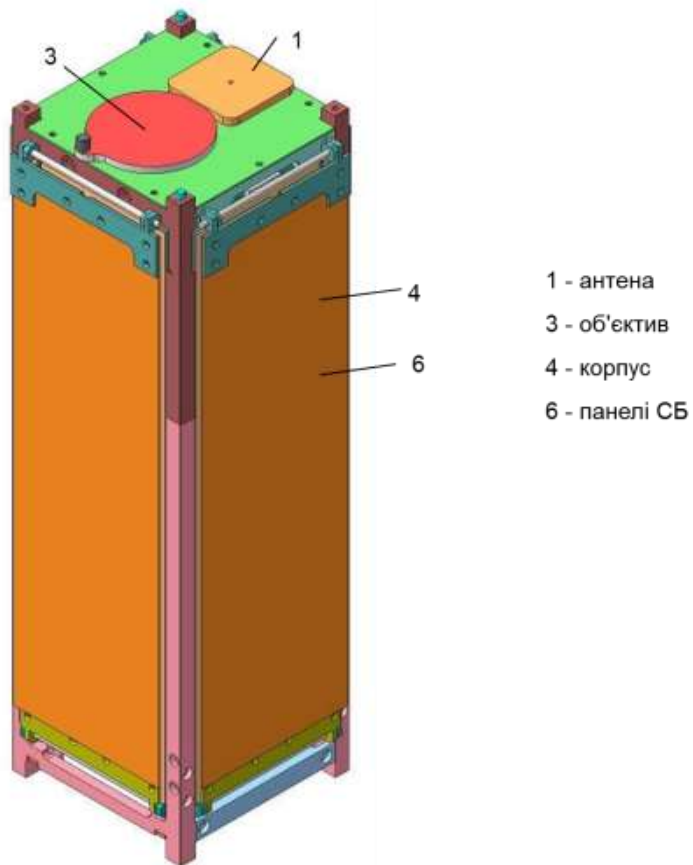


Рисунок 1 - Зовнішній вигляд НС PolyITAN-3

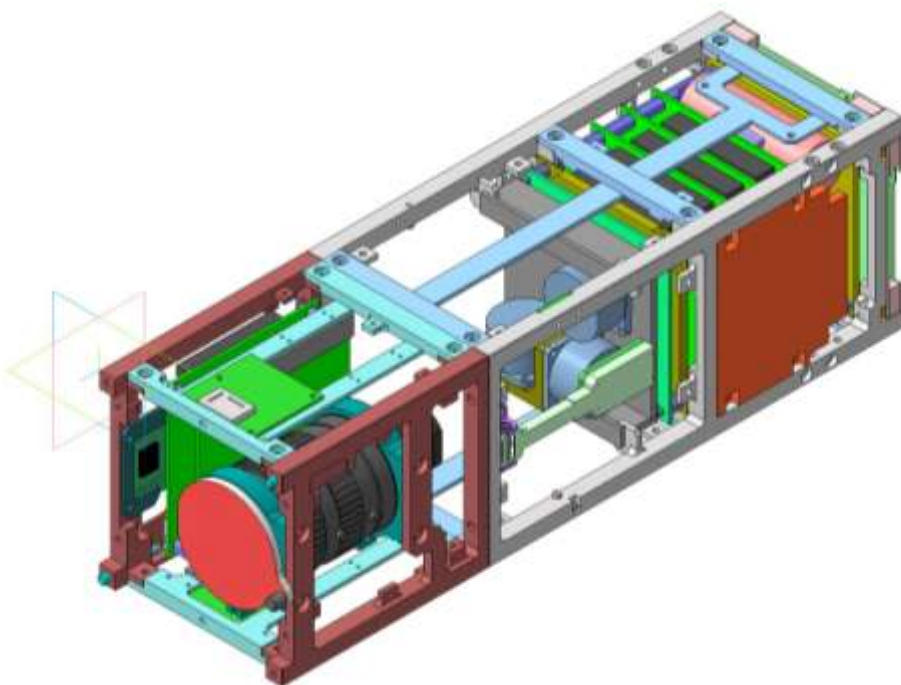
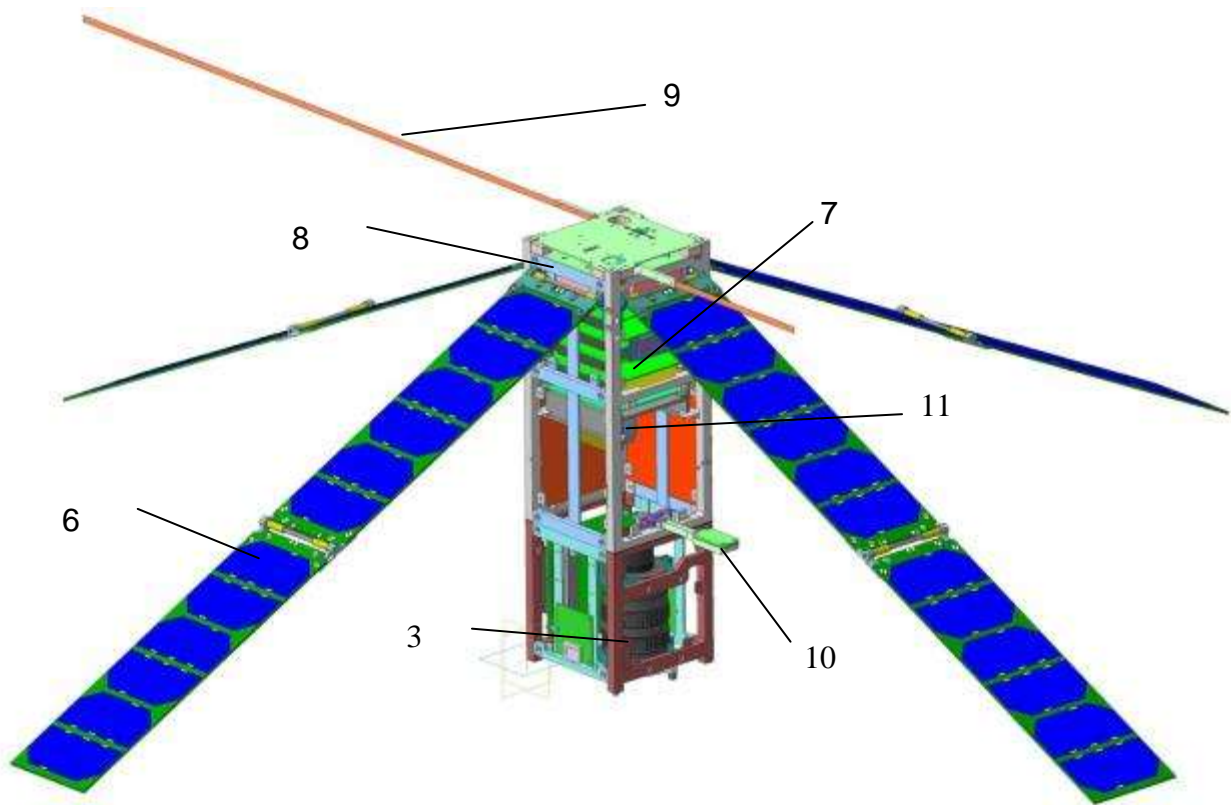


Рисунок 2. Внутрішня структура наносупутника. Склад основних елементів.

- 1 – антена GPS/Glonass
- 2 - сонячний датчик
- 3 - об'єктив (ОЕС)
- 4 – корпус та сотопанелі

- 5 – фотокамера (корисне навантаження - ОЕС)
- 6 – панелі сонячних батарей з механізмом розгортання
- 7 - лектронна платформа
- 8 - акумуляторні батареї
- 9 - радіоантена з механізмом розгортання
- 10 - Магнітометр з механізмом розгортання
- 11 – 3D-маховик



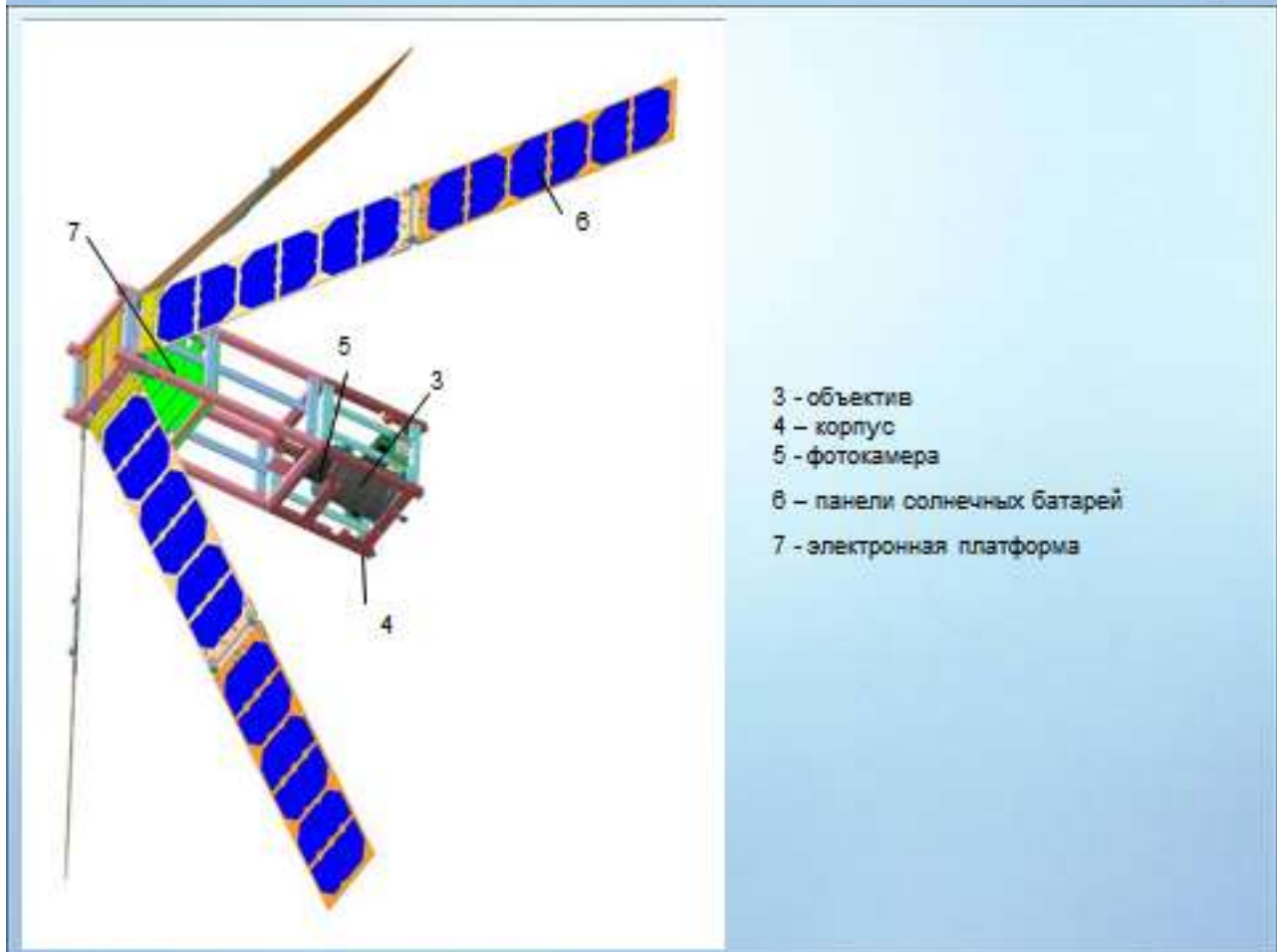
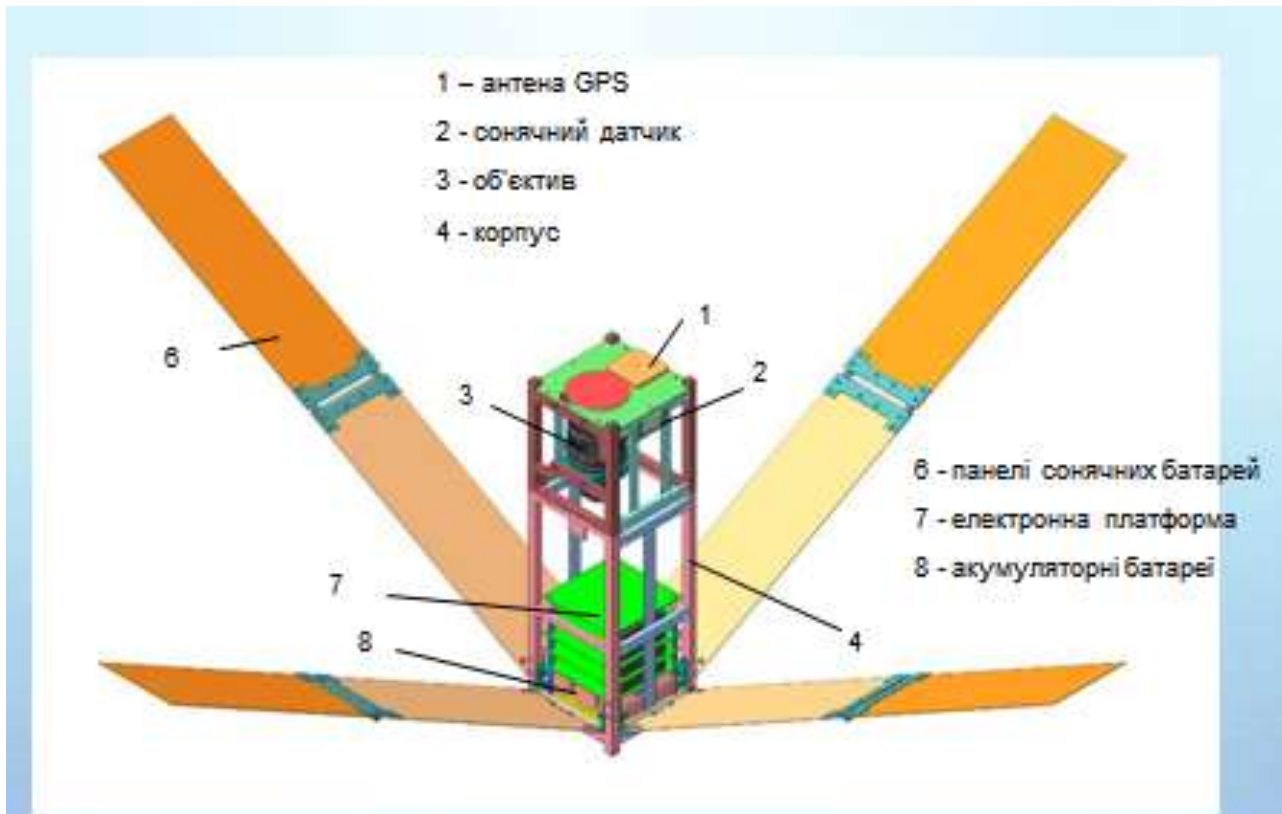


Рисунок 3 – Розгорнуте зображення супутника PolyTAN-3-SAU в 3 ракурсах

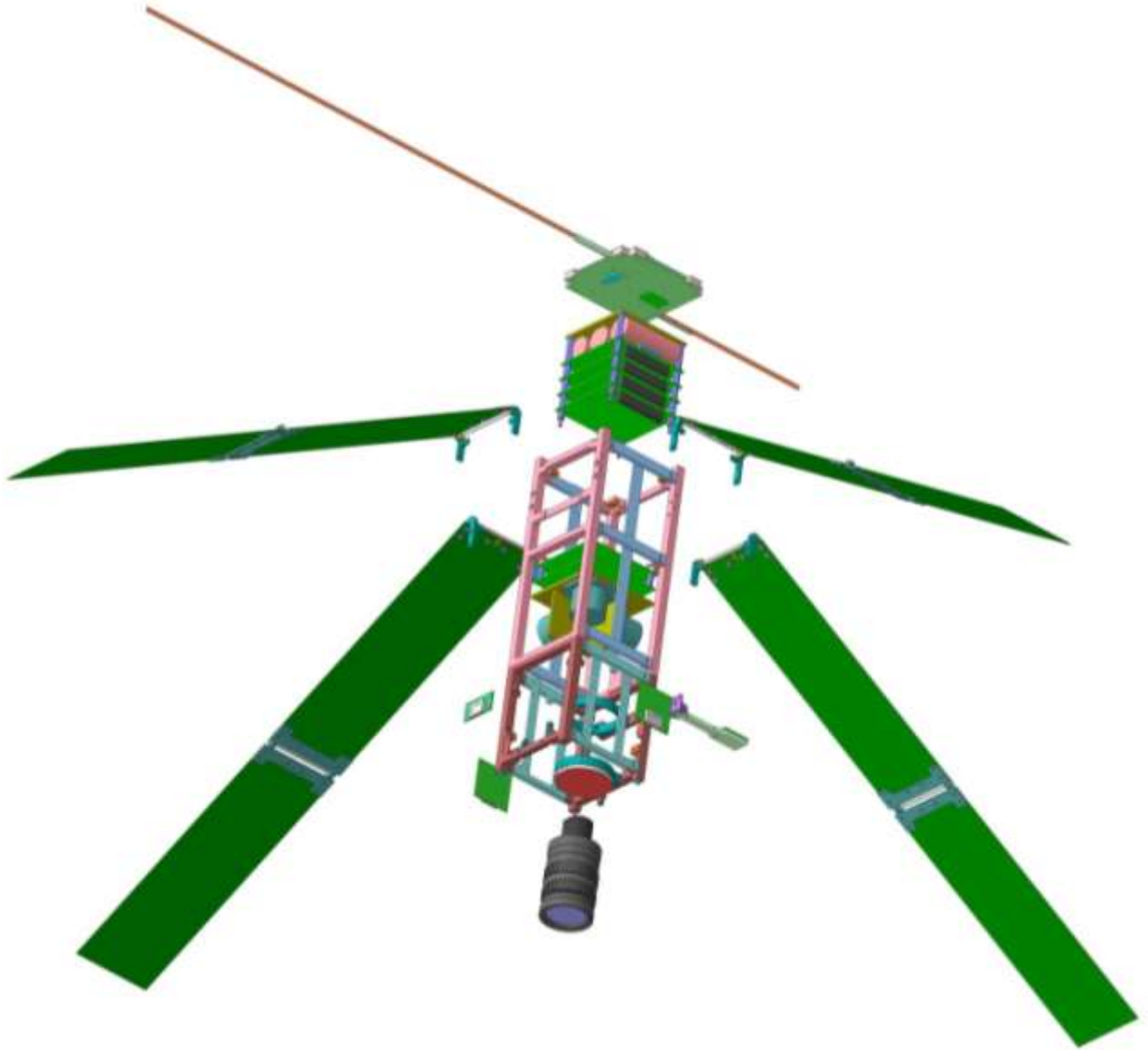
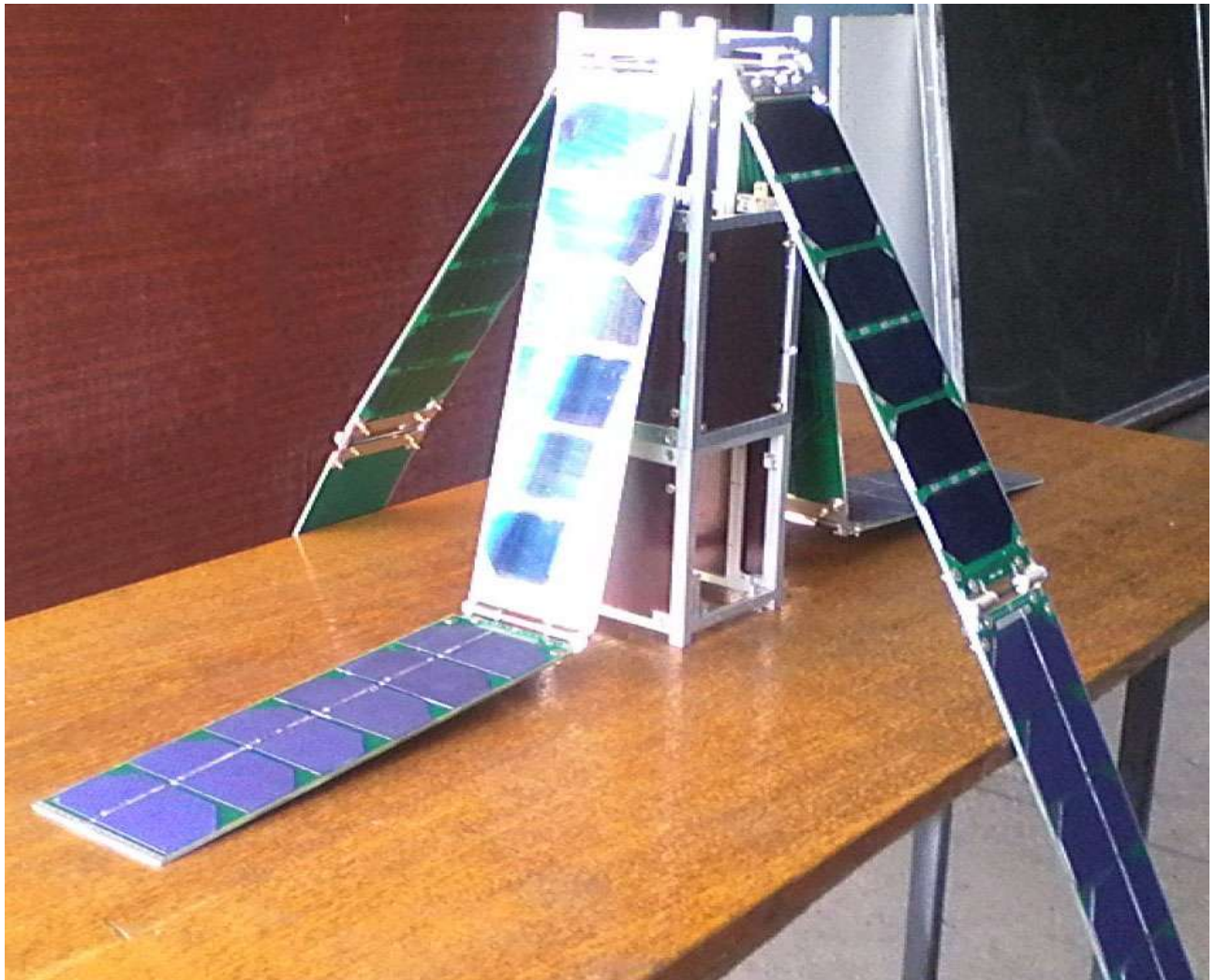


Рисунок 4 – Рознесене зображення супутника PolyTAN-3-SAU





12. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання.

Перелік статей у журналах, що входять до науково-метричних баз даних WoS та/або Scopus з індексом SNIP $\geq 0,4$ (Source Normalized Impact PerPaper) (або для соціо-гуманітарних наук з індексом SNIP 0).

№	Повні дані про статті з веб-адресою електронної версії; обрати прізвища авторів, які належать до списку авторів, індекс SNIP видань (Source Normalized Impact Per Paper)	Наукометр. бази даних	Індекс SNIP
1.	Kolobrodov, V., Pozdniakov, D., Sokurenko, V., Tiagur, V. Development of software for combining finite element optical analysis 2017 Eastern European Journal of Enterprise Technologies 4(9-88), с. 46-53	Scopus	0,5
2.	AS Tsybenko, BM Rassamakin, AA Rybalka Stress-Strain State Investigation of Polyitan-2 Nano-Satellite under the Ascent-Stage Quasi-Static Overload Conditions – Strength of Materials, 2017 – Springer https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11223-017-9878-0	GoogleScholar Scopus	0,47

Статті, що входять до науково-метричних баз даних WoS або Scopus

1.	TrotsenkoYe., Brzhezitsky V., Protsenko O., Chumack V., HaranYa. Simulation of partial discharges under influence of impulse voltage // Technology audit and production reserves. 2018. Vol. 1, No. 1 (39). P. 36–41.; БД: Copernik; http://journals.uran.ua/tarp/article/view/123309 ; https://dx.doi.org/https://dx.doi.org/https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.123309
2.	TrotsenkoYe., Brzhezitsky V., Protsenko O., Chumack V., HaranYa. Effect of voltage harmonic son pulserepetitionrate of partial discharges // Technology audit and production reserves. 2018.

	Vol. 2, No. 1 (40). P. 37–44.; БД: Copernik; http://journals.uran.ua/tarp/article/view/126626 ; https://dx.doi.org/https://dx.doi.org/https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.126626 ;
3.	V. <u>Brzhezitsky</u> , Ye. Trotsenko, Ya. Haran / Analysis and comparison of metal-oxide surge arrester models / Technology audit and production reserves. – 2017. – No. 6/1 (38). – P. 40-46.; БД: Copernik; http://journals.uran.ua/tarp/article/view/117836 ; https://dx.doi.org/https://dx.doi.org/https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.117836 ;
4.	Ye. Trotsenko, V. <u>Brzhezitsky</u> , I. Masluchenko / Analytical representation of switching current impulses for study of metal-oxide surge arrester models // Technology audit and production reserves. – 2017. – No. 5/1 (37). – P. 24-29.; БД: Copernik; http://journals.uran.ua/tarp/article/view/109662 ; https://dx.doi.org/https://dx.doi.org/https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.109662 ;
5.	Ye. Trotsenko, V. <u>Brzhezitsky</u> , I. Masluchenko / Study of surge arrester model under influence of various current pulses // Technology and its production reserves. – 2017. – № 1/1 (33). – С. 44-48.; БД: Copernik; http://jour.fea.kpi.ua/article/viewFile/131634/127869 http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Tatrv_2017_1%281%29_9.pdf
6.	Ye. Trotsenko, V. <u>Brzhezitsky</u> , I. Masluchenko / Effect of piecewise linear arc current wave form on surge arrester residual voltage // Technology audit and production reserves. – 2017. – № 2/1 (34). – С. 25-31.; БД: Copernik http://journals.uran.ua/tarp/article/view/97507 https://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiXs-mmjdDbAhWsbZoKHaBKDyYQFjABegQIARA3&url=http%3A%2F%2Fjournals.uran.ua%2Ftarp%2Farticle%2FviewFile%2F97507%2F95657&usq=AOvVaw0VIINpMfTFZHdcsq5VqwbI
7.	Ye. Trotsenko, V. <u>Brzhezitsky</u> , I. Masluchenko / Circuit simulation of electrical breakdown in air using Kind's equal-area criterion // Technology audit and production reserves. – 2017. – № 3/1 (35). – С. 44-49.; БД: Copernik; http://journals.uran.ua/tarp/article/view/102240 journals.uran.ua/tarp/article/viewFile/102240/101043

Охоронні документи на об'єкти права інтелектуальної власності.

1.	<u>Бржезицький В.О.</u> , Гаран Я.О., Лапоша М.Ю.; Патент «Високочастотний загороджувач», UA 115475: / Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – опубл. 10.11.2017,
2.	Патент №116296 України на корисну модель. МПК (2016.01) G02B 9/34. Ширококутний об'єктив із зменшеною дисторсією. / Сокуренько В. М., Сокуренько О. М., Стріха О. Є. (Україна) – Заявл. 19.12.2016; Опубл. 10.05.2017; Бюл. №9.
3.	Патент №116296 України на корисну модель. МПК (2016.01) G02B 9/34. Ширококутний об'єктив із зменшеною дисторсією. / Сокуренько В. М., Сокуренько О. М., Стріха О. Є. (Україна) – Заявл. 19.12.2016; Опубл. 10.05.2017; Бюл. №9.

Опубліковані за темою проекту статті у журналах, що входять до переліку фахових видань України та мають ISSN, статті у закордонних журналах, а також англійські тези доповідей у матеріалах міжнародних конференцій, що індексуються науково-метричними базами даних WoS

1.	Е.Н. Письменный, С.М. Хайрасов, Б.М. Рассемакин Теплообмен в зоне испарения аммиачных алюминиевых тепловых труб Наукові вісті НТУУ «КПІ», 2017, с. 14 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
2.	М. Е. Ильченко, Т. Н. Нарытник, Б. М. Рассемакин, В. И. Присяжный, С. В. Капштык Создание архитектуры «распределенного спутника» для низкоорбитальных информационно-телекоммуникационных систем на основе группировки микро- и наноспутников ISSN 1727-7337. Авиационно-космическая техника и технология, 2018, № 2(146) с.33-43 https://www.khai.edu/csp/nauchportal/Arhiv/АКТТ/2018/АКТ218/index.htm

3.	Trotsenko Ye., Brzhezitsky V., Protsenko O., Chumack V., Haran Ya. Simulation of partial discharge sunderin fluence of impulse voltage // Technologyauditandproductionreserves. 2018. Vol. 1, No. 1 (39). P. 36–41.; БД: Copernik; http://journals.uran.ua/tarp/article/view/123309 ; https://dx.doi.org/https://dx.doi.org/https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.123309
----	--

Дисертації

Рибалка Антон Олексійович УДК 539.3 Динаміка і міцність наносупутника PolyItan-2-SAU на етапі виведення на орбіту Дисертація кандидата технічних наук Науковий керівник: доктор технічних наук, професор Цибенко О.С., Національний технічний університет України КПІ ім. Ігоря Сікорського (м. Київ), професор кафедри динаміки і міцності машин та опору матеріалів. Захист 2018р.

Коваленко Євген Юрійович Енергоефективне керування електроживленням систем наносупутників 05.09.03 Електротехнічні комплекси та системи Дисертація кандидата технічних наук Науковий керівник: к.т.н., доцент Будьонний О. В. Спеціальність 05.02.09 грудень 2016 р.

13. Надати ключові слова до розробки: Наносупутник, формат Cubesat, дистанційне дослідження Землі, сканер видимого діапазону космічного базування