



Н Т У У
КПІ

Рассамакін Б.М., Байсков М.Ф., Коваленко 1
Є.Ю., Душейко М.Г., Лауш А.Г., Першин
М.О., Хомініч В.І. Бендасюк Н. М.

Проект №35: «Новітні технології створення вітчизняних наносупутників “ПоліТАН” для дослідження навколоzemного простору»

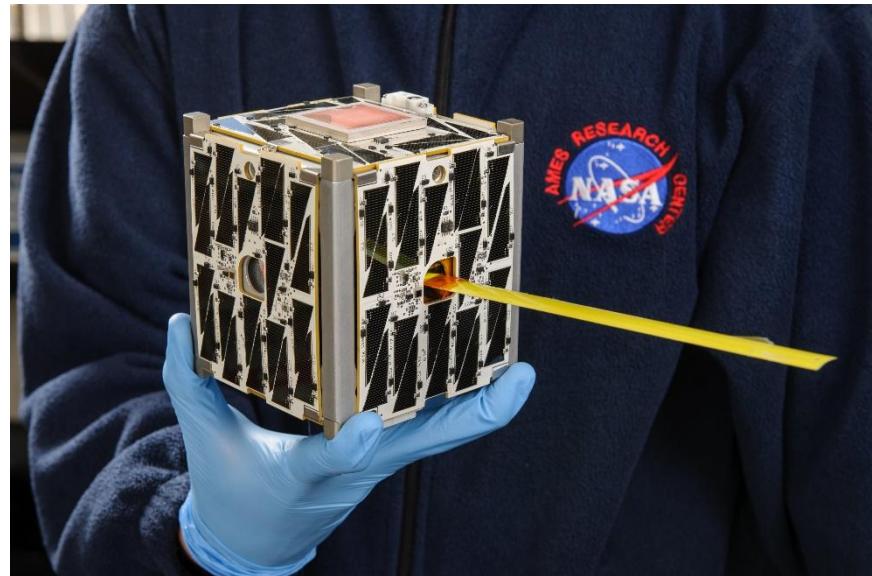
Вул. Політехнічна 6, Київ, 03056, Україна

Лабораторія наносупутників технологій формату CubeSat НТУУ КПІ
www.cubesat.com.ua

Що таке наносупутники?

Ще 20 років тому під словом «Супутник» завжди розуміли щось надзвичайно дороге, та громіздке. Проте зараз є можливість робити невеликі, та одночасно з тим повнофункціональні апарати, які можуть виконувати дуже широкий спектр задач, таких як:

- Екологічний моніторинг;
- Дослідження геофізичних полів;
- Астрономічні спостереження;
- Дистанційна фото- та відеозйомка Землі;
- Пошук корисних копалин;
- Біологічні експерименти в космосі і т.д.

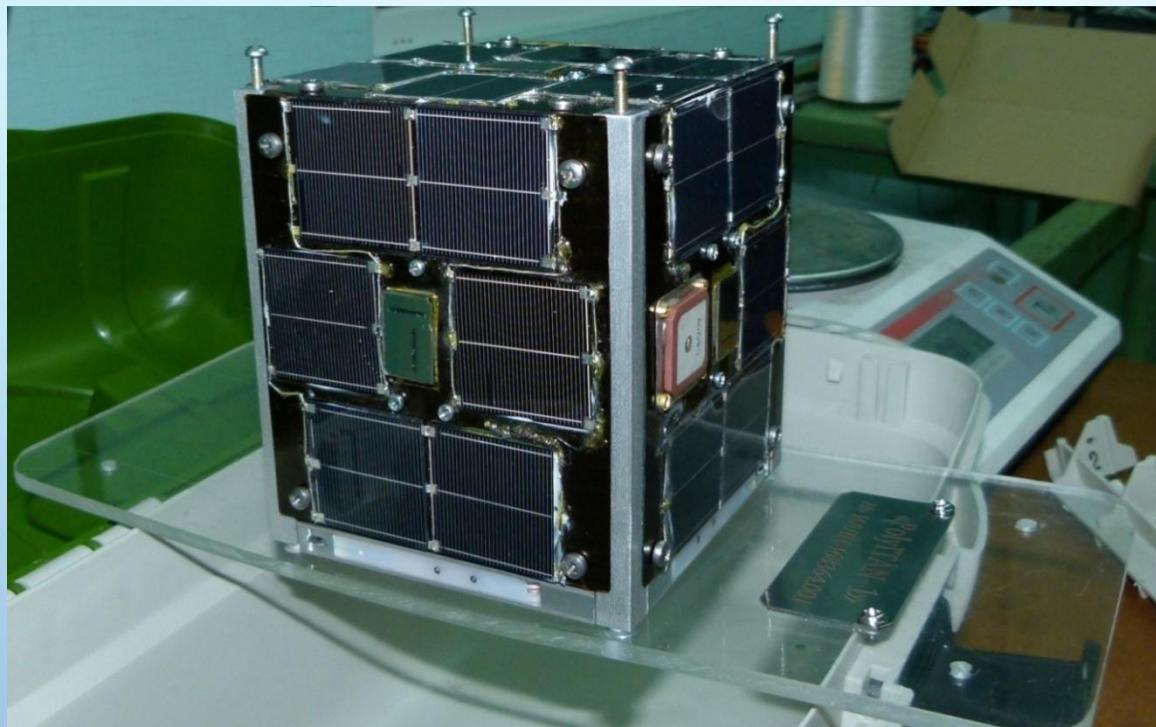


Типовий наносупутник у порівнянні з людською долонею. Фото з сайту NASA.

На даний момент представлені в роботі наносупутники ПолІТАН-1 (PolyITAN-1) та ПолІТАН-2 (PolyITAN-2-SAU) є єдиними в Україні.

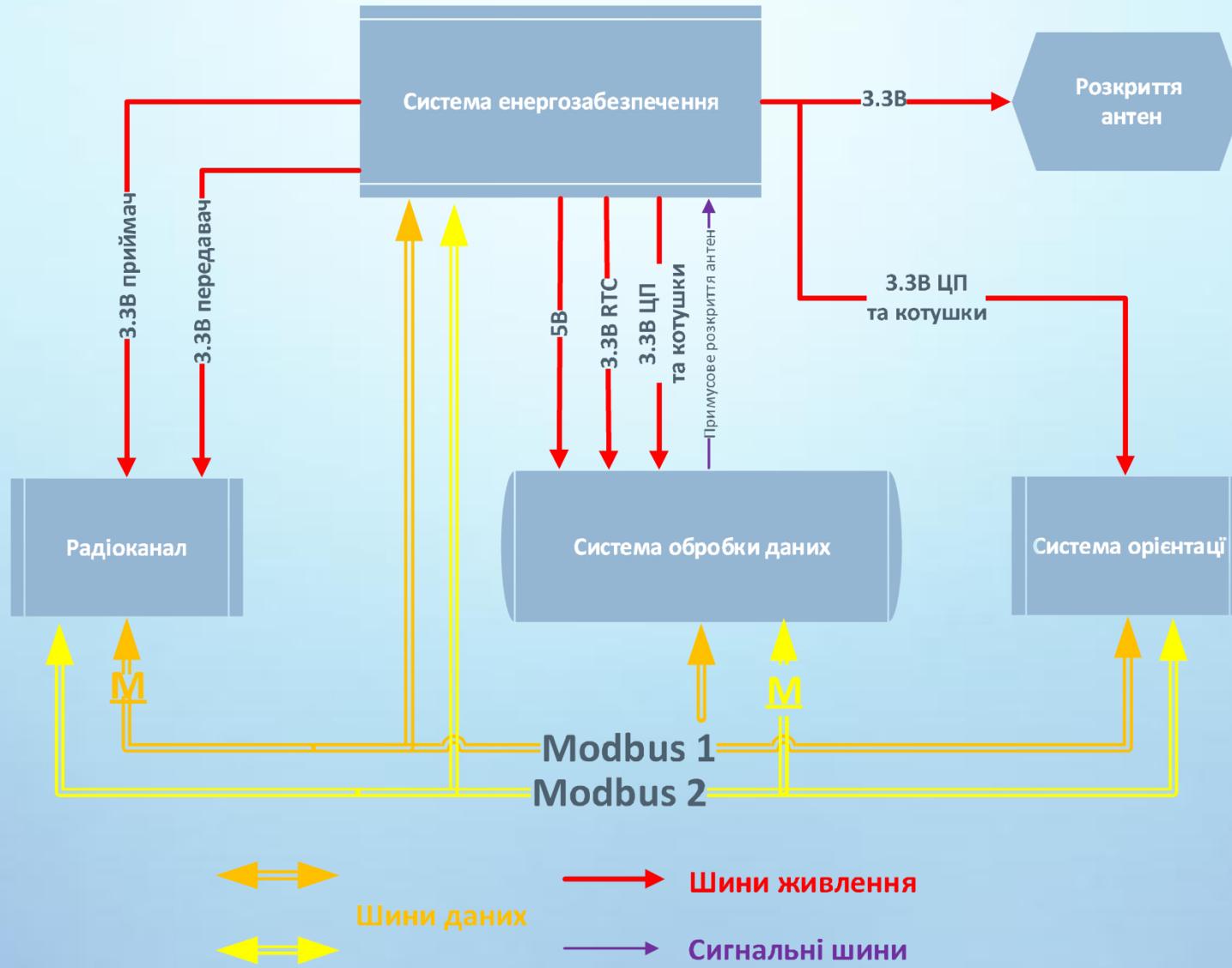
Перший наносупутник КПІ: ПоліТАН-1 (PolyITAN-1, формат 1U-CubeSat)

У четвер, 19 червня 2014 року о 19:11 UTC ракета "Дніпро-1" стартувала з космодрому Ясний (Оренбурзька область, Росія), маючи 33 космічних апарати на борту. Одним з них був перший український наносупутник PolyITAN-1 (ПоліТАН-1), який був повністю розроблений вченими, студентами та викладачами НТУУ КПІ.



Центр управління супутником (UT4UZB) знаходиться на факультеті теплоенергетики в корпусі № 5 НТУУ "КПІ". Супутник був виведений на орбіту о 19:32 і був успішно прийнятий на частоті 437.675 МГц (без врахування Допплерівського зсуву). Маяк досі посилає телеметрію формату FSK 9k6. На даний момент супутник успішно працює протягом 45 місяців.

Структурна схема наносупутника PolyITAN-1



Основні параметри супутника PolyITAN-1

Маса	1 ,08 кг
Потужність, яку генерують сонячні батареї	1.2 Вт
Максимальне короткочасне споживання енергії	10 Вт (7 хвилин)
Максимальна кількість переданих за день даних	0,2 МБ
Розміри наносупутника (без упаковки), мм	113x100x100
Частоти роботи супутника 145,96 та 437.675 МГц (модуляція – 2FSK): - швидкість «вверх», kbit/s.	1,2
- швидкість «вниз», kbit/s	9,6
Точність орієнтації: - по тангажу	≈ 10°
- по рисканню	≈ 5°
- по повороту	≈ 5°
Орбіта	620 км інклінація – 97,983 °
Запуск з	Дніпро-1
Тривалість роботи (на 03.2018)	45 місяців

Підсистеми супутника Polytan-1

Центральний процесор

Cortex – M4, споживання в межах 0.3Вт



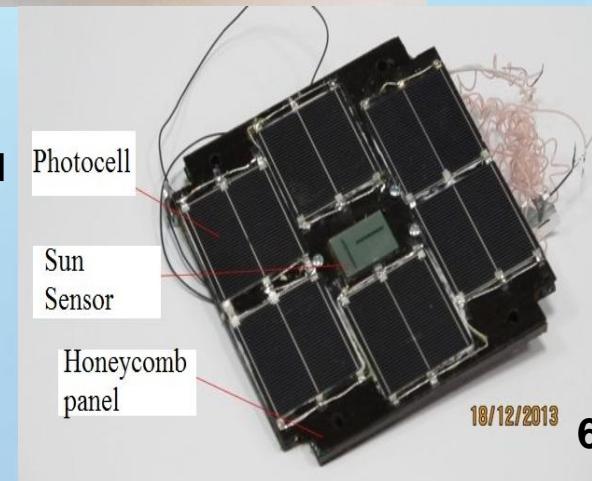
Підсистема зв'язку

- приймач 144 - 145 MHz
- передавач 435 -437 MHz

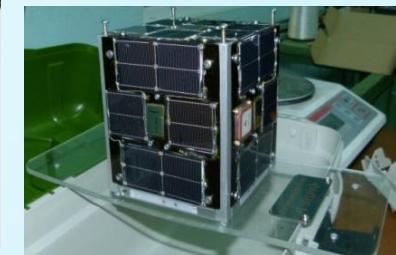
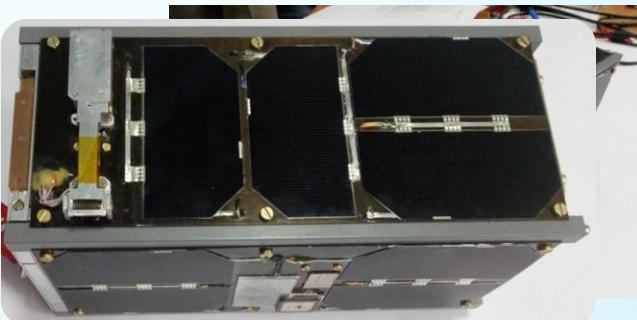
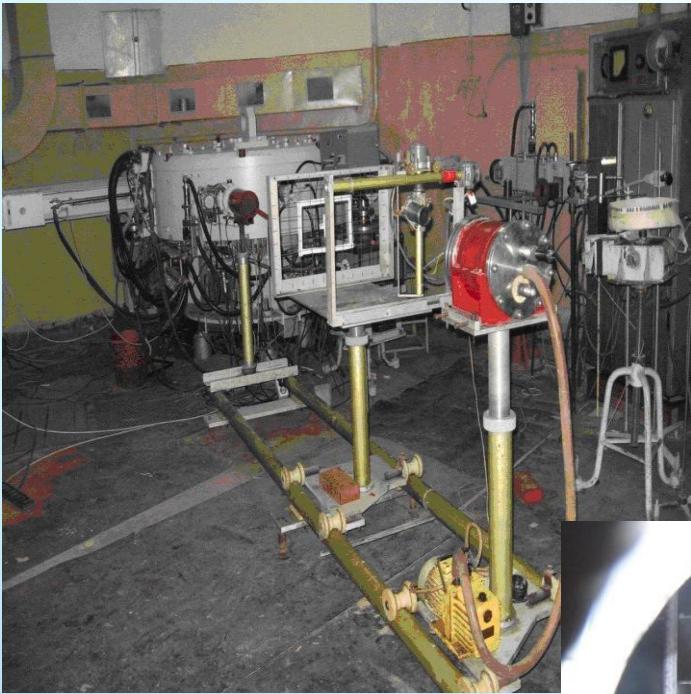


Підсистема живлення

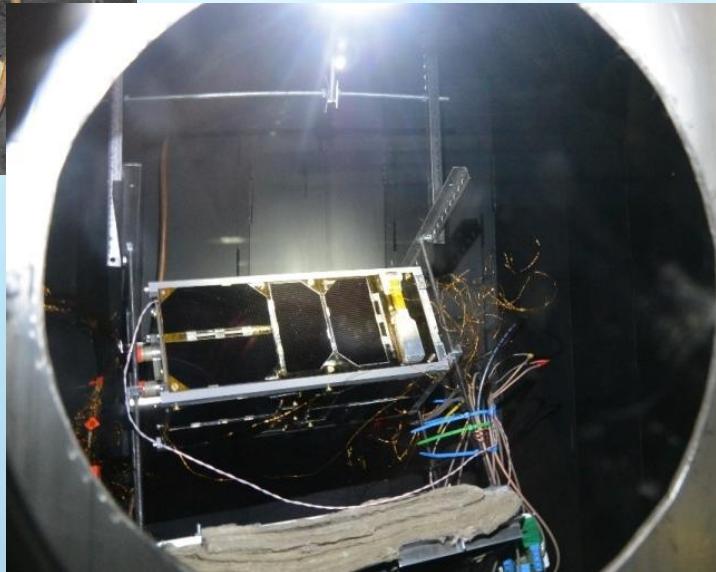
- 5 сонячних батарей
- Ємність акумулятора:
30 Вт•год (3.3 В, 9.2 А•год)



Випробування супутників Polytan



Радіаційні тести
 e^+ , p^+



Вібротести

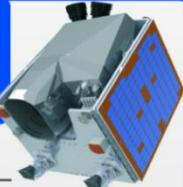
Термовакуумні випробування

Інформація у медіа про запуск 33 космічних апаратів ракетою РС-20 (Дніпро-1)

**ЗАПУСК 33 КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ
НА РАКЕТЕ РС-20**

Україна Росія Казахстан

KAZEOSAT



SURREY
КАЗАХСТАН
ГАРЫШ САЛАРЫ

Казахстан Гарыш Салары
Республика Казахстан
Масса КА: 177 кг

Kazeosat предназначен для широкополосной мультиспектральной съемки земной поверхности с разрешением 6,75м в интересах сельского хозяйства и землепользования, а также для контроля за природными ресурсами и стихийными бедствиями. Созданный на основе платформы SSTL-150, спутник является элементом гражданской группировки наблюдения Земли

DEIMOS-2



elecnor
deimos

Испания
Масса КА: 300 кг

Deimos-2 является первым испанским спутником Д33 с оптико-электронной аппаратурой метрового разрешения. Он будет вести съемку земной поверхности в панхроматическом и мультиспектральном диапазонах для коммерческих пользователей во всем мире

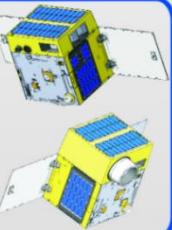
SAUDISAT-4



KACST, Саудовская Аравия
Масса КА: 100 кг

SaudiSat-4 – научно-исследовательский спутник, на котором установлена полезная нагрузка для исследования процессов накопления/изменения электрических зарядов на поверхности приборов КА

HODOYOSHI-3,4



Университет г. Токио, Япония
Масса КА: 58 кг & 64 кг

Спутники наблюдения Земли с разрешением 40м и 6м соответственно, оснащенные системами хранения и передачи данных. На борту Hodoyoshi-4 установлена ионная манипуляторная установка, работающая на ксеноне, а также передатчик данных X-диапазона (320Mbps 16QAM)

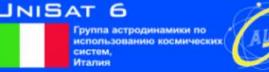
ТаблетСат-Аврора



ООО "СПУТНИКС", Россия
Масса КА: 25 кг

Коммерческий аппарат, предназначенный для отработки созданной универсальной платформы в условиях космического пространства, а также для дистанционного зондирования Земли в интересах частной компании. Основным назначением КА является оптическая съемка Земли с разрешением 15 метров

UNISAT 6



Группа астрономии по использованию космических систем, Италия
Масса КА: 26 кг

UNISAT-6 представляет собой гражданский научный спутник, для испытания созданного Заказчиком оборудования в условиях космоса. Он также предназначен для отработки спутникового типа CubeSat ("TigriSat", "AeroCube6", "Asteiosat", "Lemur-1"), разработанных университетами разных стран

BRITE-Toronto/BRITE-Montreal



ХРОД Systems
Канада
Масса КА: 7 кг

Два nano-спутника, входящих в орбитальную группировку BRITE, которые будут улавливать свет ярких звезд. BRITE является первой спутниковой группировкой, предназначенной для изучения фундаментальных проблем астрофизики

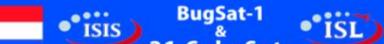
APRIZESAT 9 & 10



SpaceQuest
США
Масса КА: 14 кг

КА "АпрайзСат-9" и "АпрайзСат-10" являются спутниками связи и служат для передачи и получения небольших пакетов данных со стационарных и мобильных станций и отслеживания координат судов в морских акваториях

BugSat-1 & 21 CubeSats



QB50P1 & QB50P2 | NANO-SAT-BR1 | PERSEUS-M1 & PERSEUS-M2
FLOCK1C-1 / FLOCK1C-11 | DTUSAT-2 | DUCHIFAT | POPSAT-HIP1 | PAGE | POLYTAN-1

Flags of Argentina, Ukraine, Denmark, Brazil, Israel, Singapore, and the European Union.

5 пусковых контейнеров QuadPack (разработанных компанией ISIS, Нидерланды) используются для выведения 21 КА типа CubeSat.

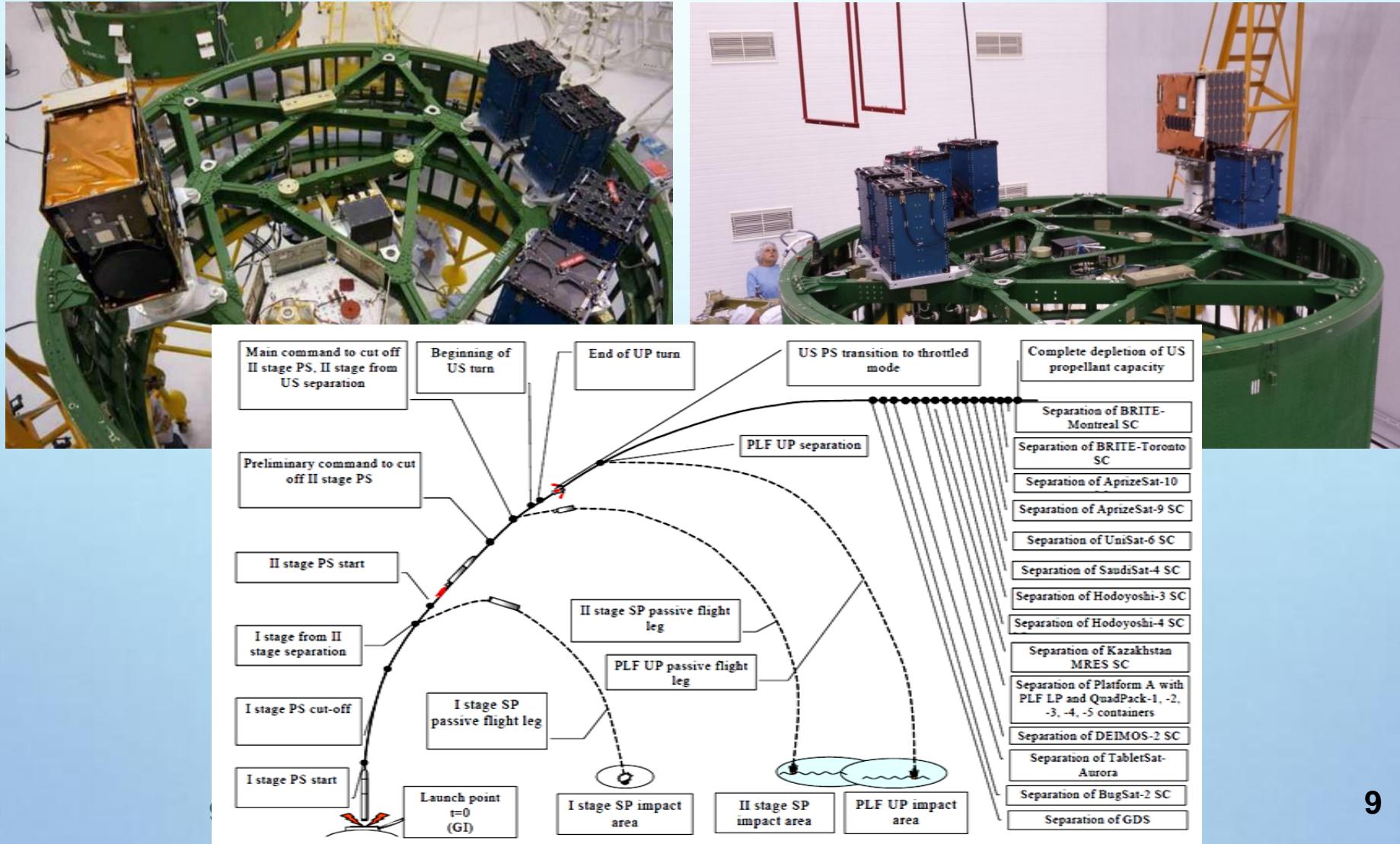
Пусковой контейнер QuadPack представляет собой модульную адаптируемую систему отделения для КА типа CubeSat. Он вмещает несколько КА различной конфигурации, имеет простой интерфейс с ракетой-носителем и используется при запуске и отделении большого количества КА.

BugSat-1 – гражданский спутник среднего разрешения для Д33 в мультиспектральном диапазоне. (разработан компанией Satellogic S.A., Аргентина, Масса КА: 23 кг)

Підготовка та пуск ракети Дніпро-1

Космічні апарати

Казахстану, Іспанії, України, Аргентини, Бельгії, Бразилії, Данії, Ізраїлю, Сінгапур, США. Місце знаходження - п. Ясний (Росія)

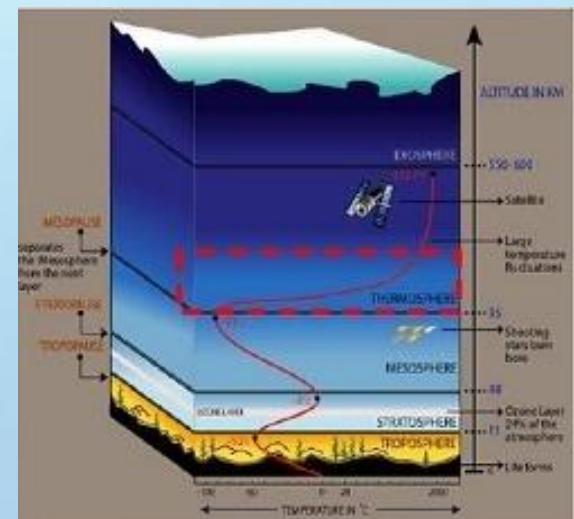
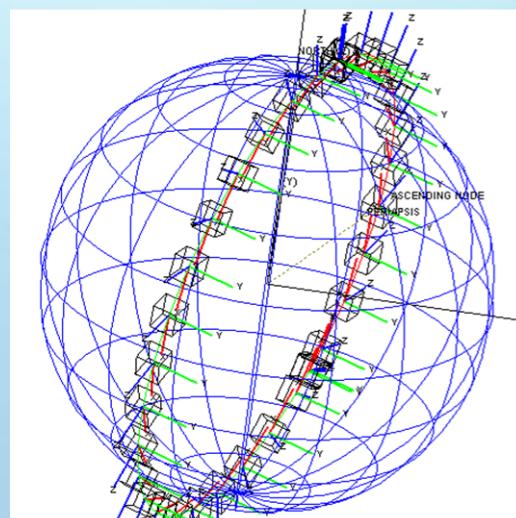
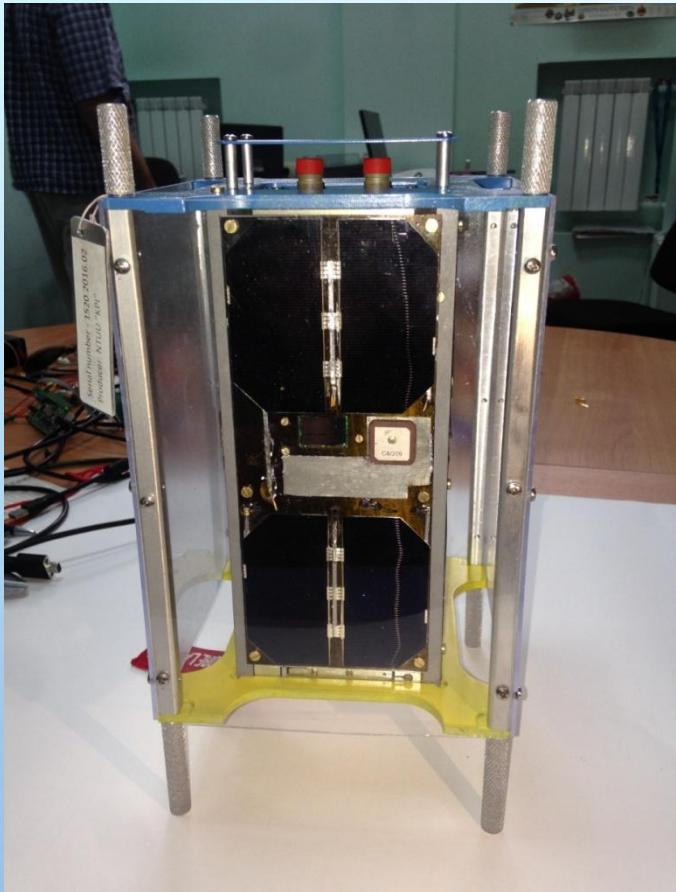


Другий наносупутник КПІ: ПоліІТАН-2(PolyITAN-2-SAU, формат 2U-CubeSat)

(Міжнародна програма по дослідженню термосфери як найменш вивченого шару атмосфери Землі)

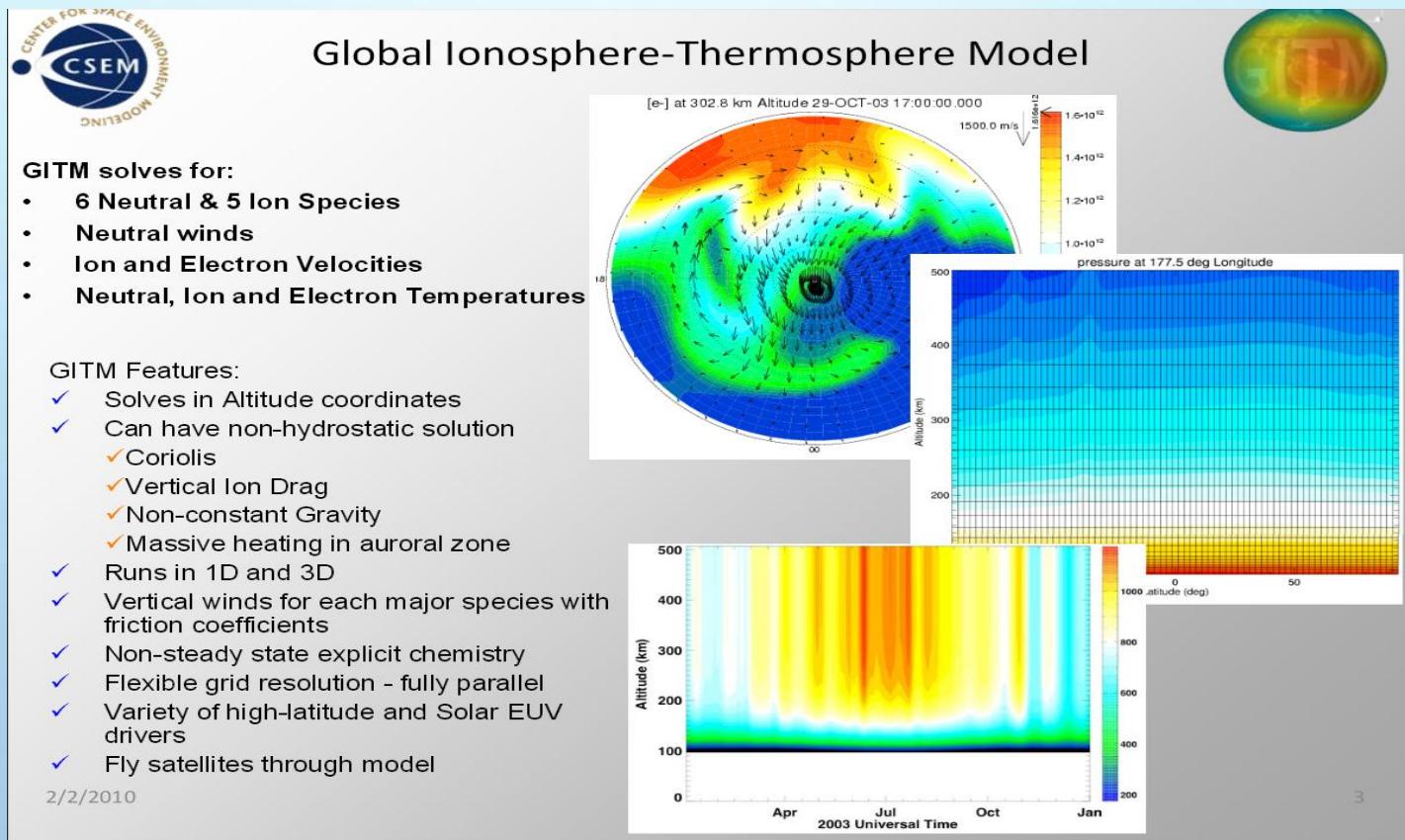


QB50, an FP7 Project

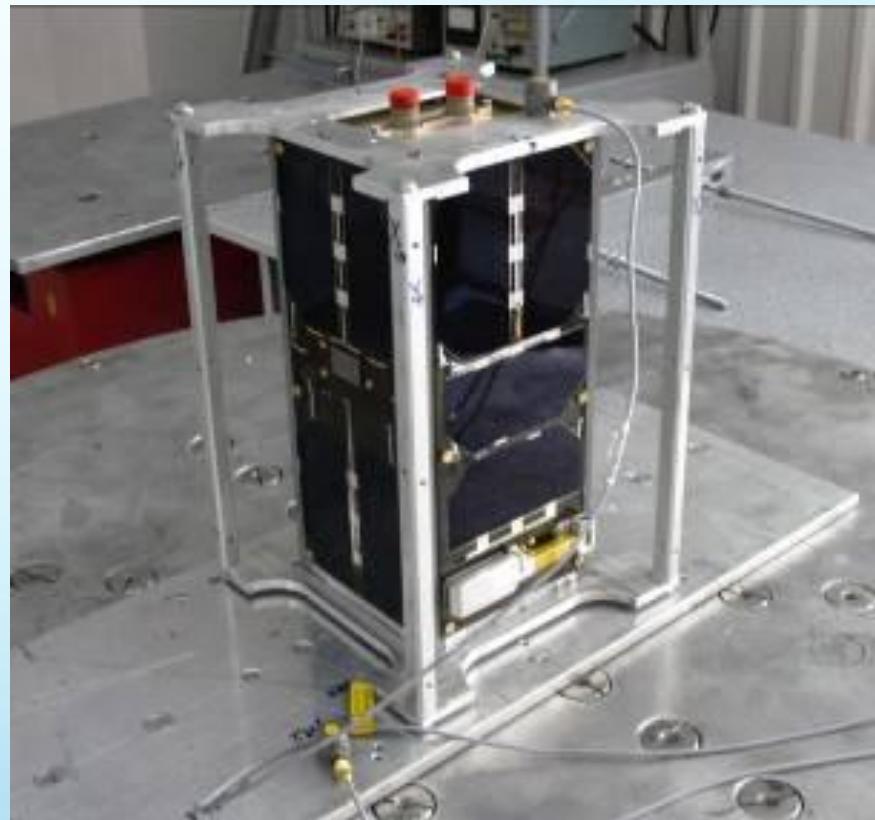
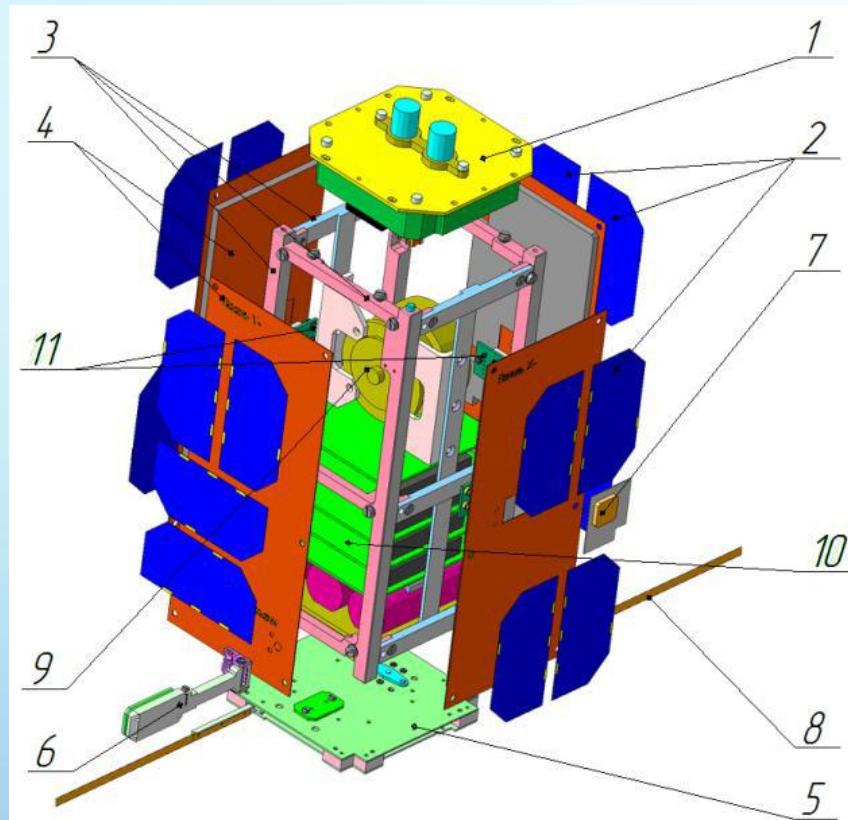


Наносупутник **PolyITAN-2-SAU** є частиною міжнародної мережі QB50 для багатоетапних вимірювань в іоносфері та нижній термосфері. Цей проект Європейського Союзу керує інститут фон Кармана (Бельгія).

Отримані дані до Глобальної Моделі Іоносфери-Термосфери - GITM використуються для створення та порівняння баз даних і, головне, в якості інструменту для прогнозування атмосферних аномалій.

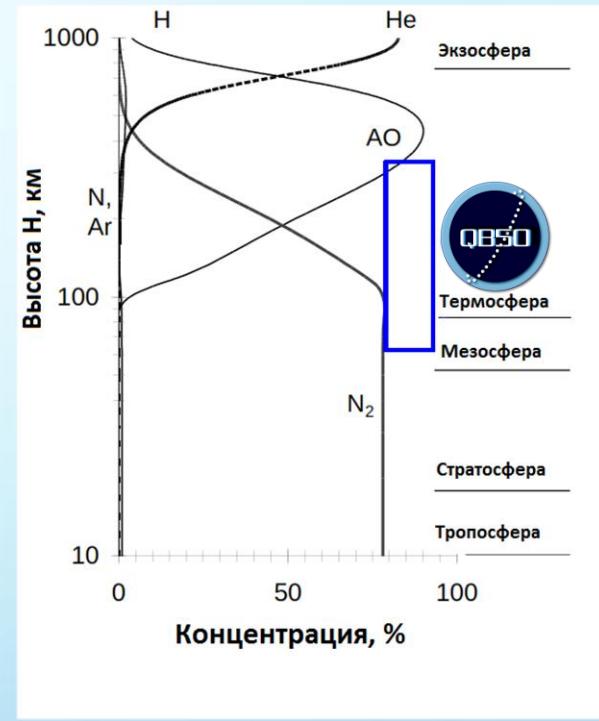
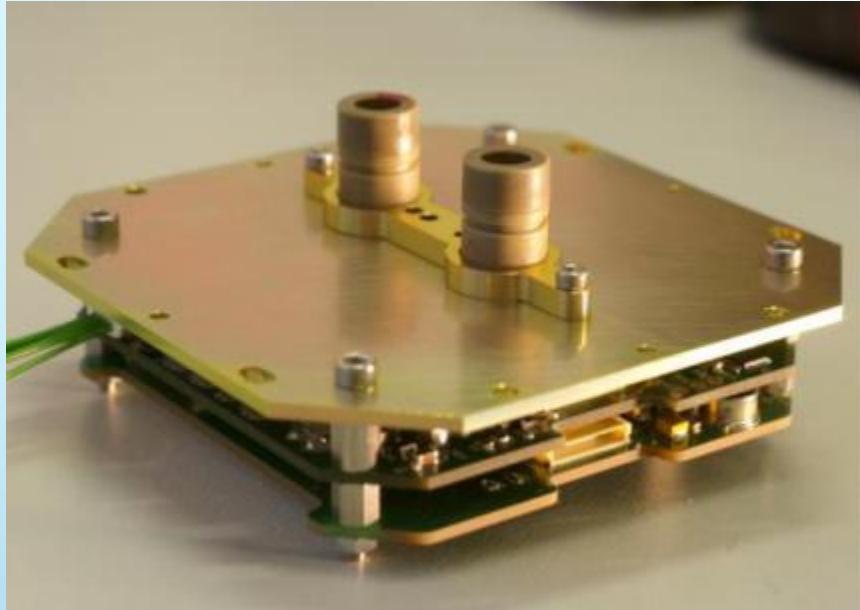


Склад супутника PolyITAN-2-SAU та його транспортне положення



1 - корисне навантаження (FIPEX); 2 - Сонячні елементи; 3 - Каракас супутника; 4 - Сотопанелі; 5 - Антениний модуль; 6 - Магнітометр; 7 - Антена GPS/Glonass; 8 - Радіоантена; 9 - Маховик; 10 - Електронна платформа; 11 - Датчик напрямку на Сонце

Корисне навантаження PolyITAN-2-SAU



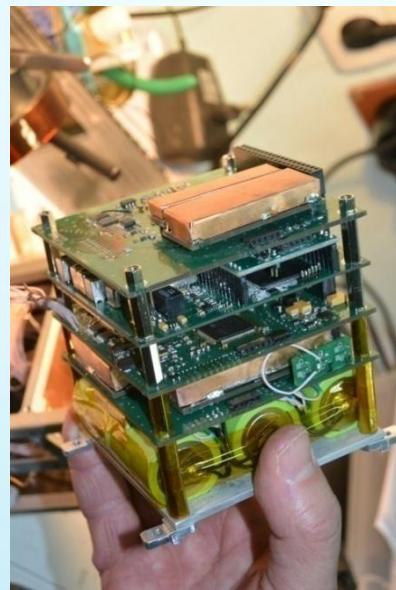
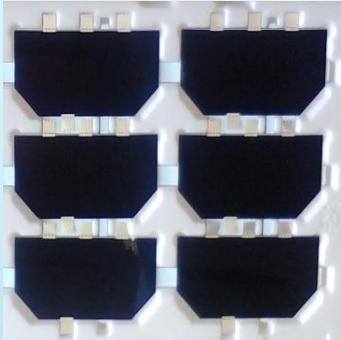
FIPLEX (Flux Probe Experiment) - експериментальний датчик забору зустрічного потоку, здатний розрізняти і вимірювати характеристики атомарного і молекулярного кисню. Атомарний кисень представлений більше інших частинок на висоті 90-380 км, його оцінка є визначальним чинником у моделі атмосфери.

Основні параметри PolyITAN-2-SAU

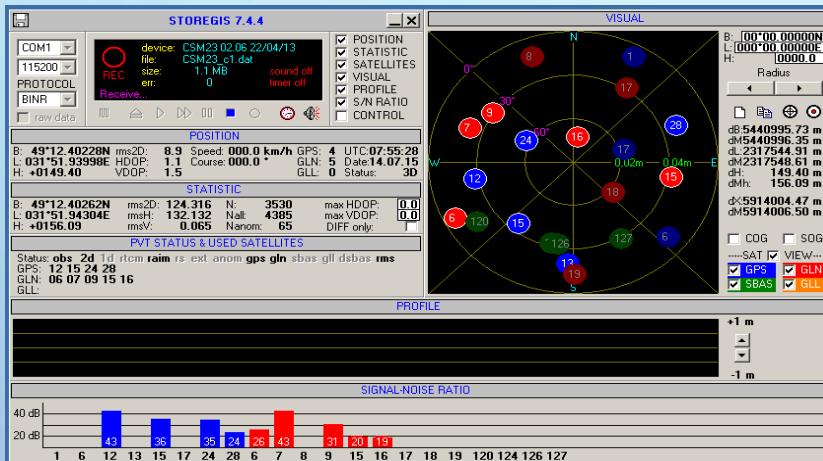
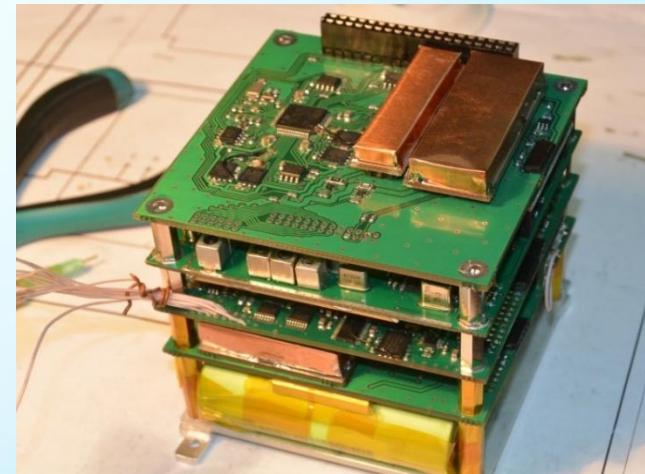
Маса	1,87кг
Потужність, яку генерують сонячні батареї	не менше 2,4 Вт
Максимальне короткочасне споживання енергії	8,2 Вт (7 хвилин)
Середнє споживання корисного навантаження (модуль FIPEX)	0,8 Вт
Максимальна кількість переданих за день даних	0,3 Мб
Розміри наносупутника (без упаковки), мм	100x100x227
Розміри наносупутника (на орбіті), мм	675x375x227
Частоти роботи супутника 145,96 та 436,6 МГц (модуляція - BPSK): - швидкість «вверх», kbit/s.	1,2
- швидкість «вниз», kbit/s	9,6
Точність орієнтації: - по тангажу	≈ 2°
- по рисканню	≈ 5°
- по повороту	≈ 5°
Орбіта	415-90 км інклінація - 51,5 °
Запуск з	МКС
Тривалість роботи (на 03.2018)	10 місяців

Підсистеми PolyItan-2-SAU

Підсистема живлення



Центральний процесор та система обробки даних

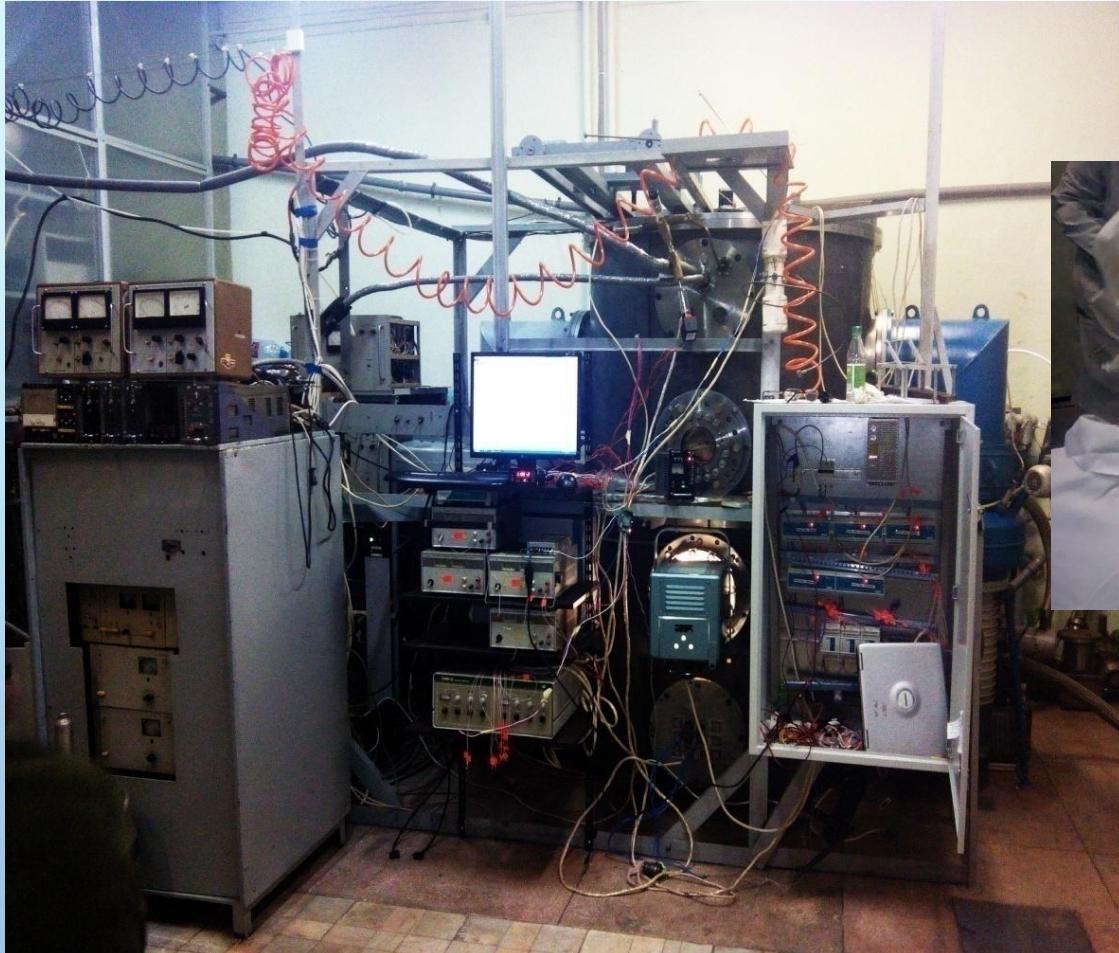


Підсистема навігації
GPS/GLONASS



Радіоканал

Налаштування програмного забезпечення вимірюальної системи і стенд ТВК-2,5 перед термовакуумними випробуванням інженерної та льотної моделей наносупутників (НТУУ КПІ, Київ).



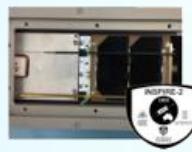
Наноспутники, що запускалися ракетою Atlas V до МКС за проектом QB50



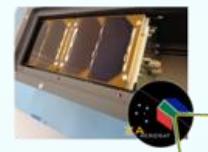
AU01 - SUSat
University of Adelaide



AU02 - UNSW-ECO
University of New South Wales



AU03 - INSPIRE-2
University of Sydney



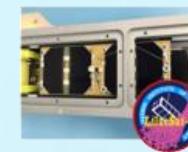
AZ01 - ZA-AEROSAT
Stellenbosch University



AZ02 - nSIGHT-1
SCS Space



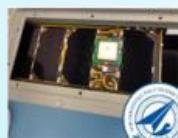
CA03 - ExAlta-1
University of Alberta



CN02 - Lilacsat-1
Harbin Institute of Technology



CN03 - NJUST-1
Nanjing University of
Science and Technology



CN04 - AoXiang-1
Northwestern Polytechnical
University



DE02 - SOMP2
Technische Universität
Dresden



ES01 - QBITO
Universidad Politécnica
de Madrid



FI01 - Aalto-2
Aalto University



FR01 - X-CubeSat
École Polytechnique



FR05 - SpaceCube
École des Mines ParisTech



GR01 - DUTHsat
Democritus University of Thrace



GR02 - UPSat
University of Patras



ILO1 - Hoopoe
Herzliya Science Center



KR01 - LINK
Korea Advanced Institute of
Science and Technology



KR02 - SNUSAT-1
Seoul National University



KR03 - SNUSAT-1b
Seoul National University



SE01 - qbee
Open Cosmos &
Luleå University of Technology



TR01 - BeagleSAT
Istanbul Technical University



TR02 - HAVELSAT
Havelsan



TW01 - PHENIX
National Cheng Kung University



UA01 - PolyITAN-2-SAU
National Technical University
of Ukraine



US01 - Challenger
University of Colorado



US02 - Atlantis
University of Michigan



US04 - Columbia
Universidad del Turabo



Вивід PolyITAN-2 –SAU ракетою Atlas V та запуск з Міжнародної Космічної Станції (травень 2017)

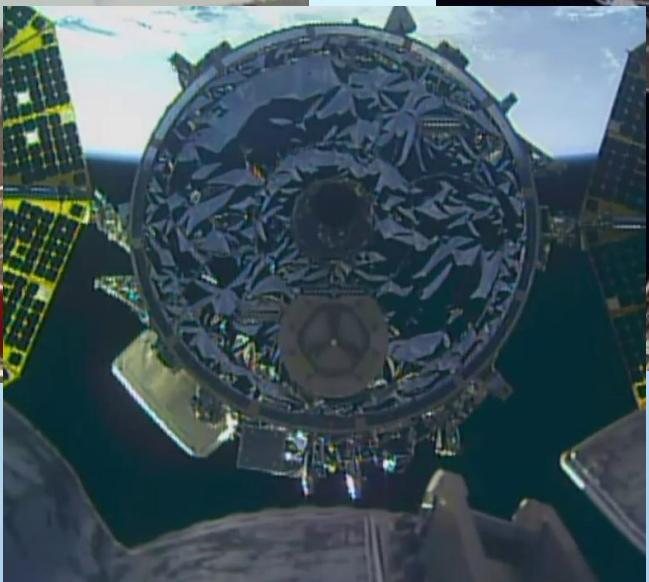
Запуск ракети Atlas V



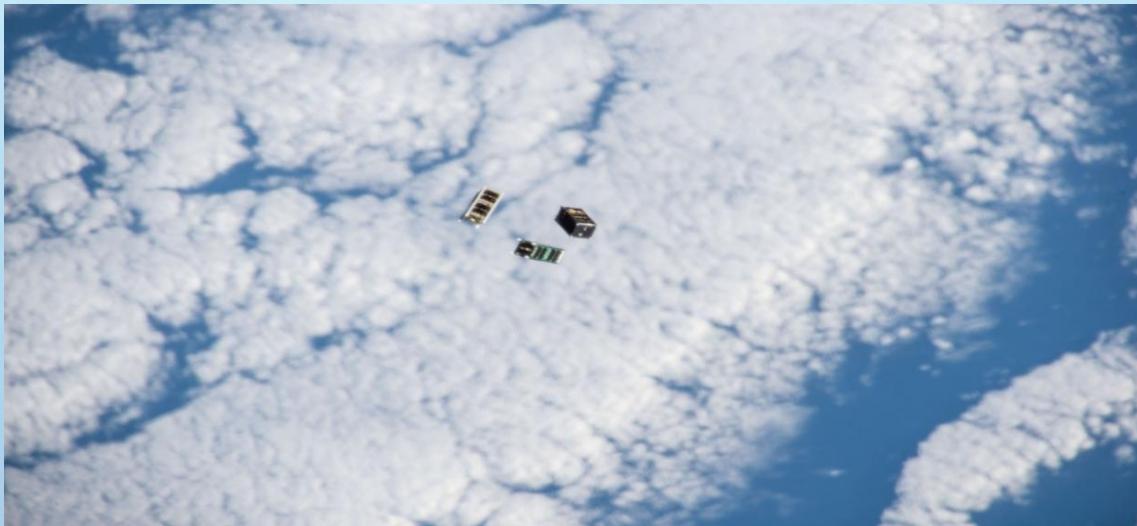
Технологія запуску з МКС



Стиковка
модуля з МКС



Запуск PolyITAN-2 –SAU з Міжнародної Космічної Станції (травень 2017)



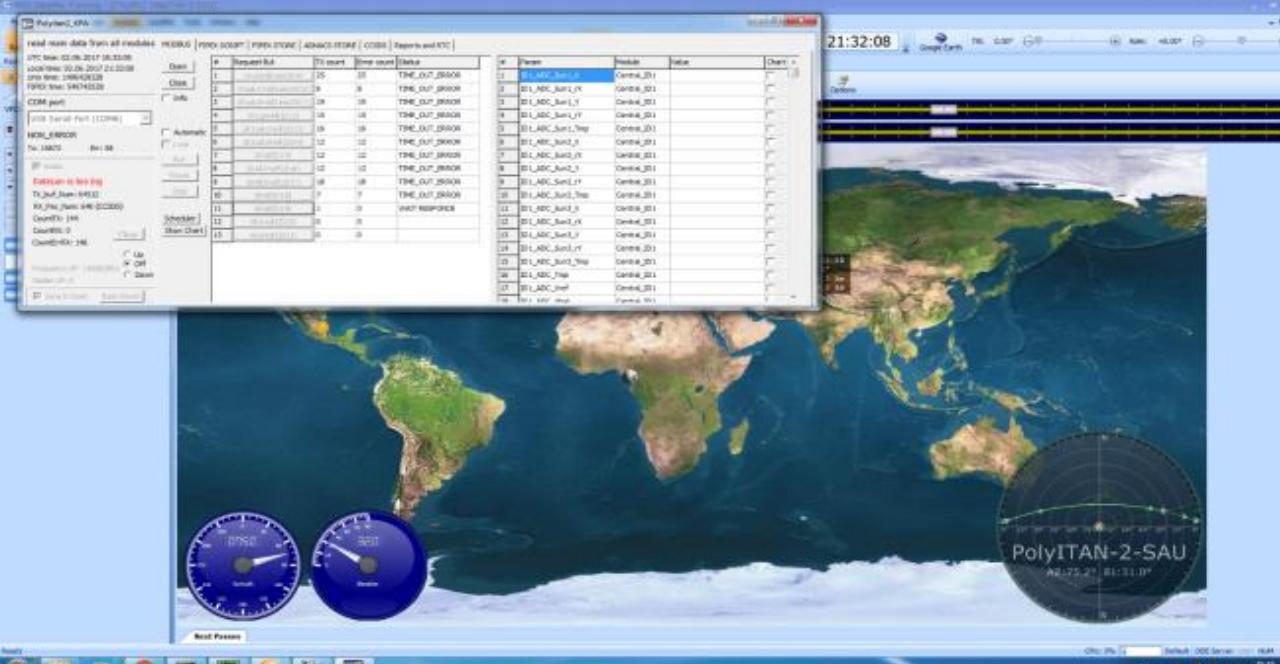
Структура наземного сегменту в НТУУ «КПІ»



API для зовнішніх користувачів

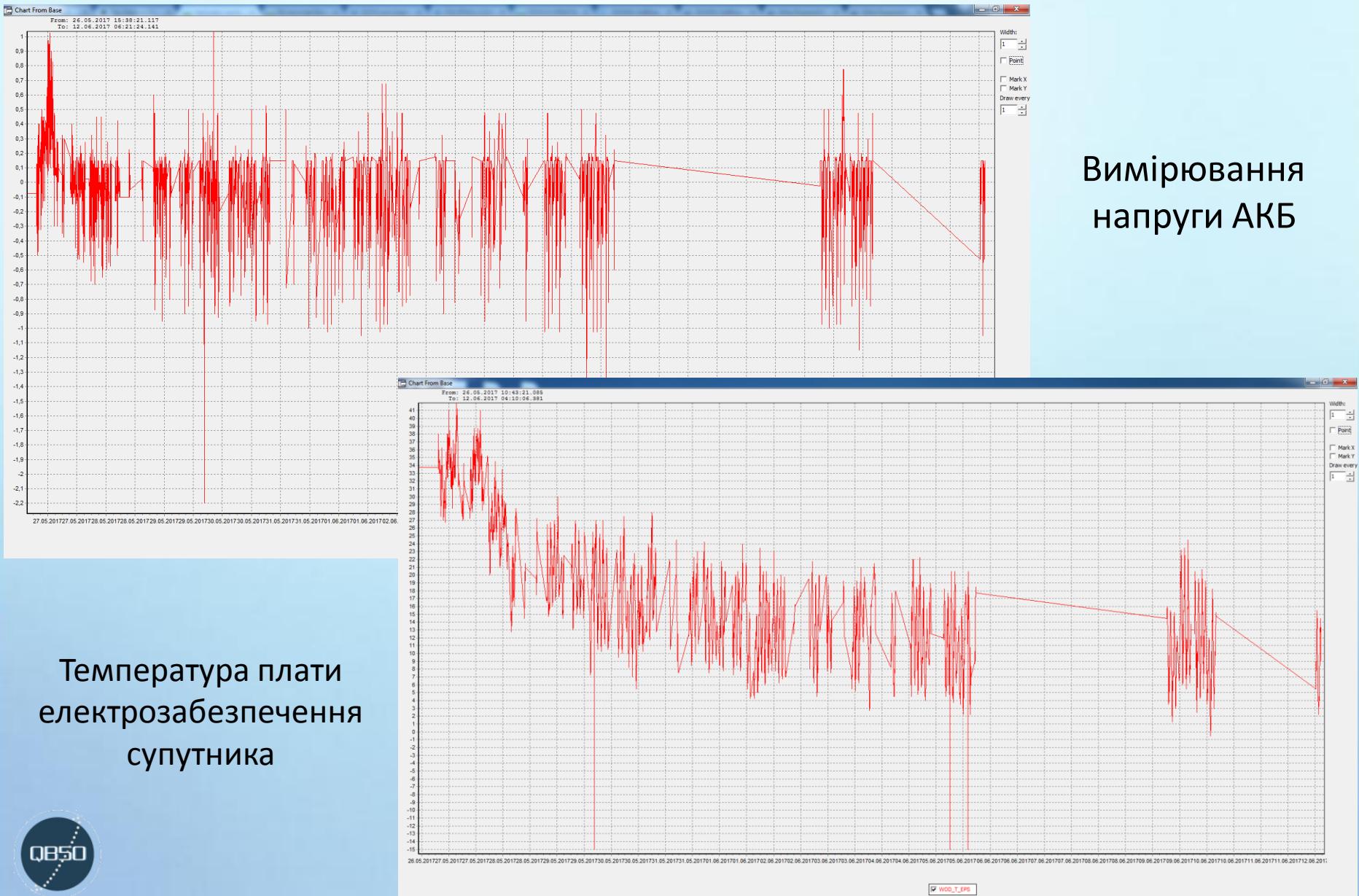
Наносупутники на орбіті Землі. Сеанс зв'язку з наземною станцією НТУУ «КПІ».

PolyITAN- 1



PolyITAN-2 –SAU

Телеметрія з PolyITAN-2-SAU



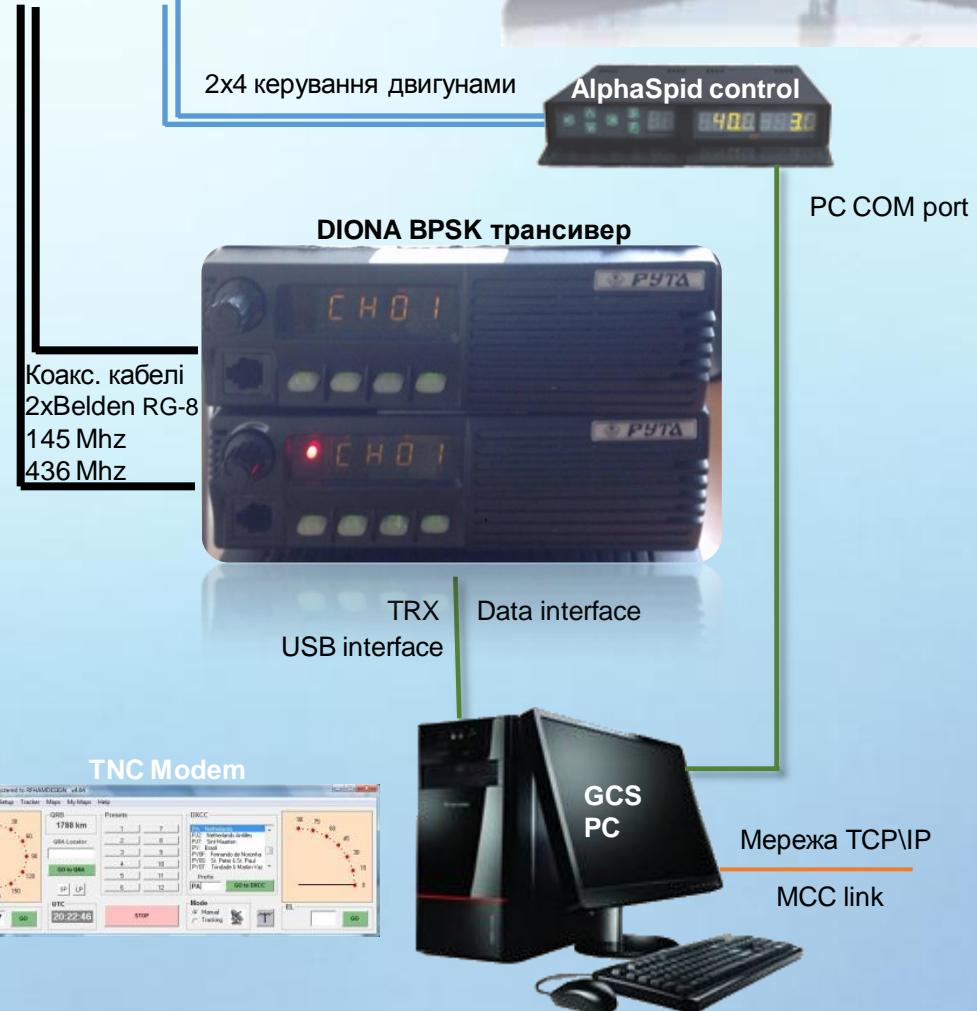
Температура плати
електrozабезпечення
супутника



Обладнання наземного сегменту

- AlphaSpid Az-El контролер двигунів
- BPSK-трансивер, виготовлений компанією Diona
- AX.25 модем (ПЗ – власне)
- ПК
 - Ham Radio Deluxe
 - Rotor control hardware and Software
- Джерело безперервного живлення
- TCP\IP, інтернет-підключення

На дах до антен



Космічна система КПІ ім. Ігоря Сікорського



Висновки

Представлена робота є підсумком колективних досягнень авторів, що привели до розвитку космічної галузі дрежави, а саме:

- На основі теоретичних досліджень, експериментів та розробки засобів та методів енергозаощадної системи електроживлення , надійного радіозв'язку та енергоефективного теплового режиму роботи електронних платформ, обґрунтовані технології забезпечення довготривалого знаходження на орбітах Землі наноспутників “ПоліІТАН-1” (PolyITAN-1) та “ПоліІТАН-2”(PolyITAN-2-SAU) формату “CubeSat».
- Створені наукові основи технології проектування ,конструювання та виготовлення підсистем наноспутників “ПоліІТАН -1” (PolyITAN-1) та “ПоліІТАН-2”(PolyITAN-2-SAU) формату «CubeSat».
- Розроблені методи оптимізації забезпечення запасу енергії наноспутників при мінімізації енергетичних витрат, а також створені алгоритми побудови циклограм системи електроживлення, враховуючи енергоспоживання наноспутників одночасно на усіх відрізках часу їх знаходження на орбіті.
- Запропоновано та впроваджено нові конструкційні матеріали –сверхлегкі, тепло - та радіаційне - захисні несучі сотопанельні вуглепластикові конструкції космічного застосування, програмне забезпечення з енергозаощадніми алгоритмами та засоби контролю стану акумуляторних батарей та електронної платформи наноспутників
- Створена технологія відпрацювання системи навігації супутників з прибором -імітатором навігаційних сигналів СН 3810, відпрацьован інтерфейс обміну між навігаційними елементами наноспутника
- Теоретично обґрунтовано, запропоновано та створено систему попарного підключення сонячних батарей до перетворювачів з вбудованим контролером відбору максимальної потужності, яка дозволяє зменшити втрати енергії та суттєво підвищує відмовостійкість роботи наноспутників
- створені наноспутники Polyitan-1 та Polyitan-2-SAU, які на даний момент є єдиними в Україні

На сьогодні дослідники підтримують зв'язок з обома наноспутниками, керують ними та отримають наукову інформацію.

(у реальному часу дивись сайти - <http://www.n2yo.com/?s=40042> та <http://www.n2yo.com/?s=42732>)