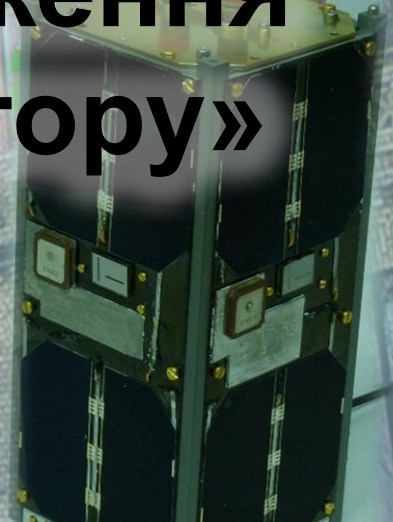
Рассамакін Б.М., Байсков М.Ф., Коваленко Є.Ю., Душейко М.Г., Лауш А.Г., Першин М.О., Хомініч В.І. Бендасюк Н. М.

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

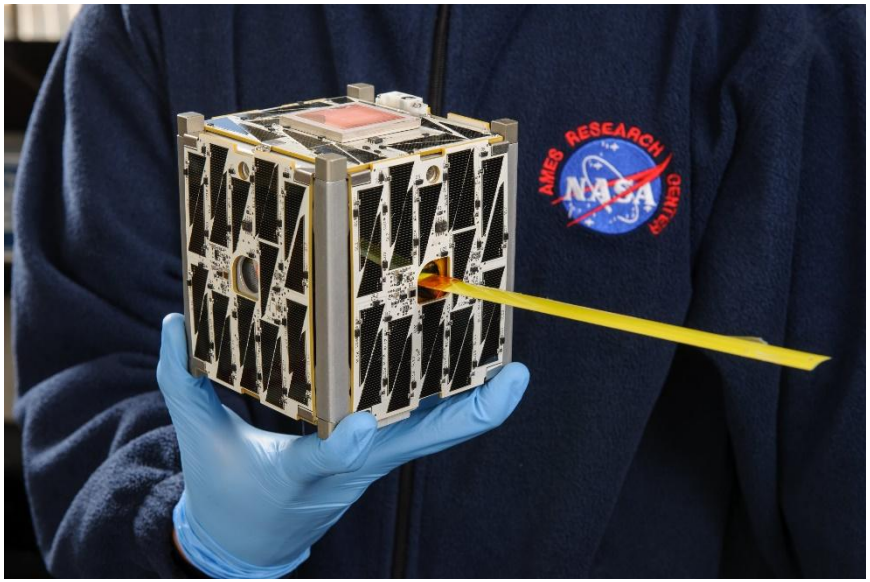


Вул. Політехнічна 6, Київ, 03056, Україна
Лабораторія наносупутникових технологій формату CubeSat НТУУ КПІ
www.cubesat.com.ua

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.

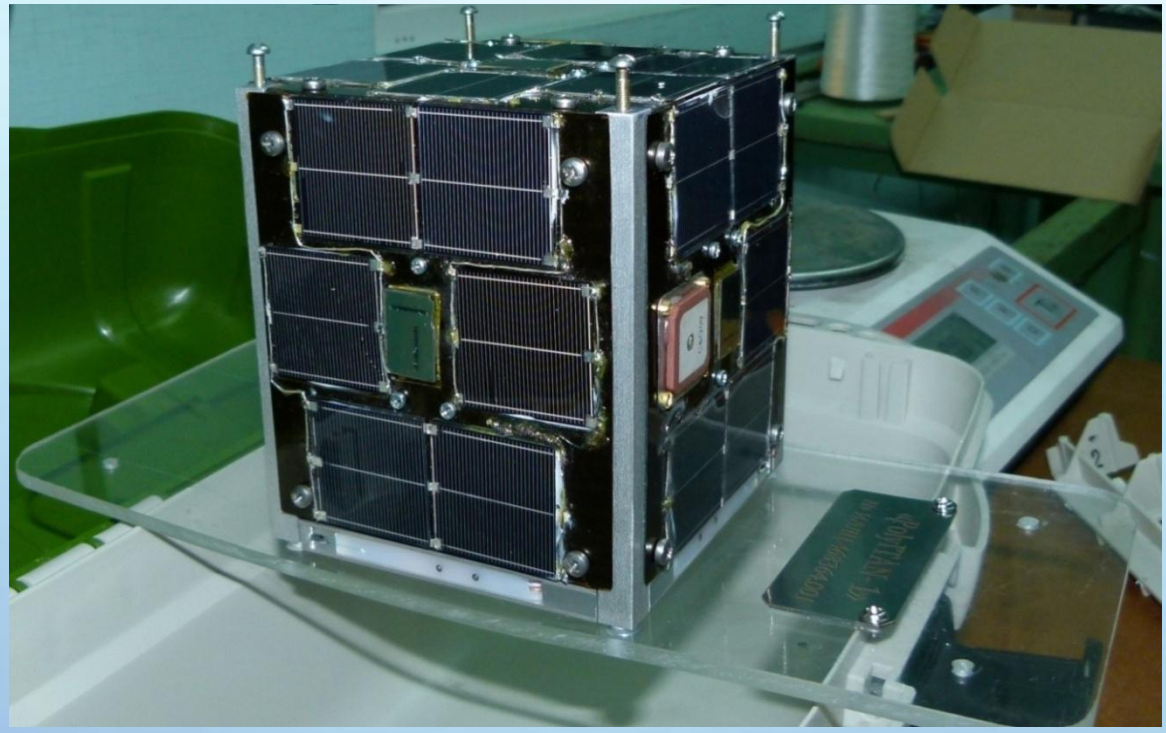


Типовий наносупутник у порівнянні з людською долонею. Фото з сайту NASA.

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

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

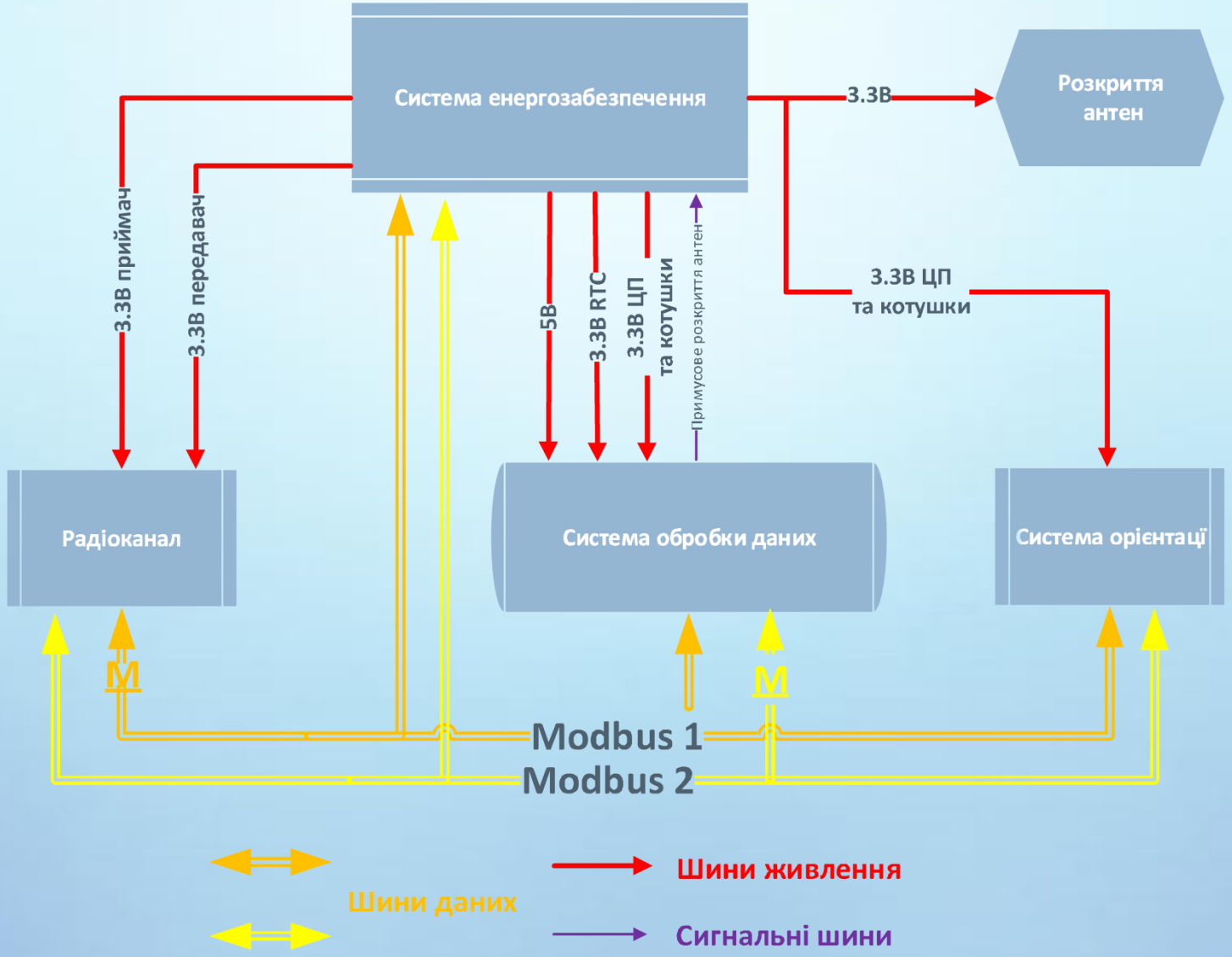
У четвер, 19 червня 2014 року о 19:11 UTC ракета "Дніпро-1" стартувала з космодрому Ясний (Оренбурзька область, Росія), маючи 33 космічних апарати на борту. Одним з них був перший український наносупутник PolyITAN-1 (ПоліІТАН-1), який був повністю розроблений вченими, студентами та викладачами НТУУ КПІ.



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



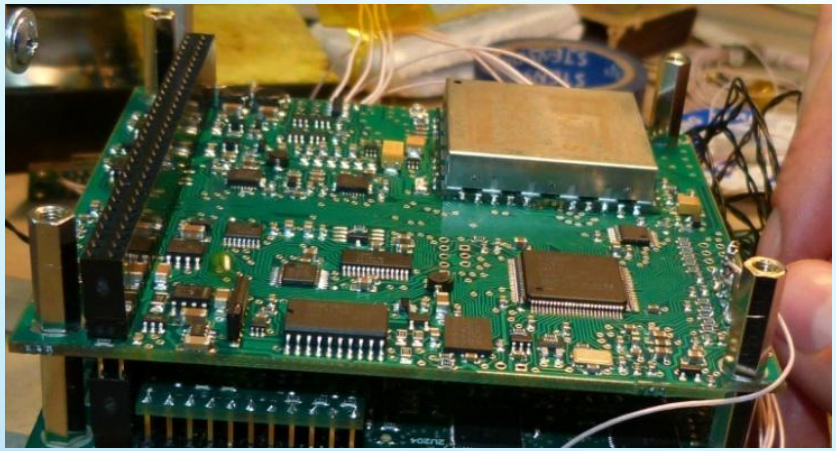
Основні параметри супутника PolyITAN-1

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. - швидкість «вниз», kbit/s	 1,2 9,6
Точність орієнтації: - по тангажу - по рисканню - по повороту	 ≈ 10° ≈ 5° ≈ 5°
Орбіта	620 км інклінація – 97,983 ^{0}
Запуск з	Дніпро-1
Тривалість роботи (на 03.2018)	45 місяців

Підсистеми супутника Polyitan-1

Центральний процесор

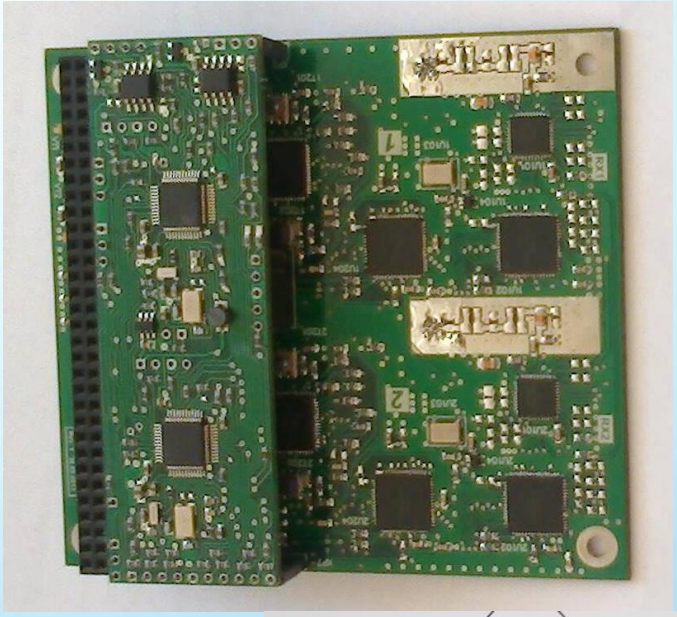
Cortex – M4, споживання в межах 0.3Вт

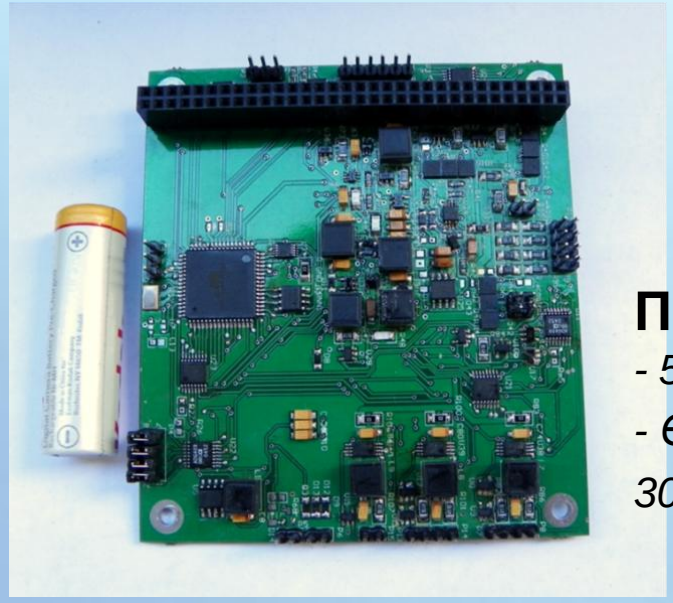


Підсистема зв'язку

- приймач 144 -145 MHz

- передавач 435 -437 MHz



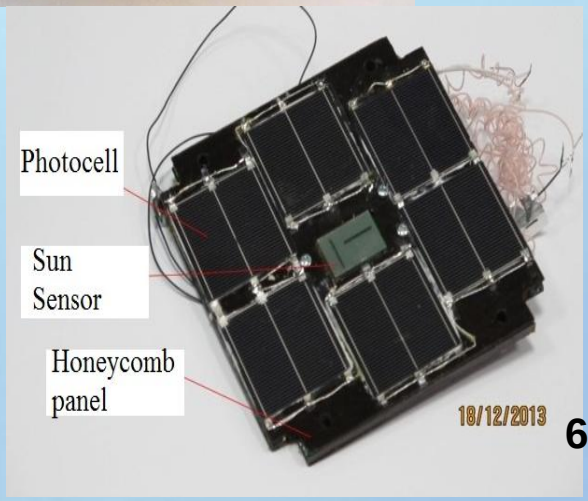


Підсистема живлення

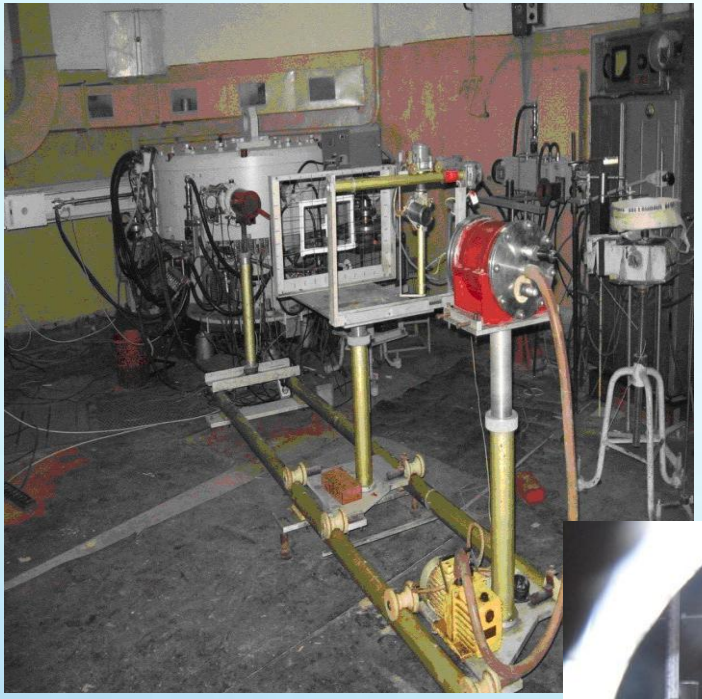
- 5 сонячних батарей

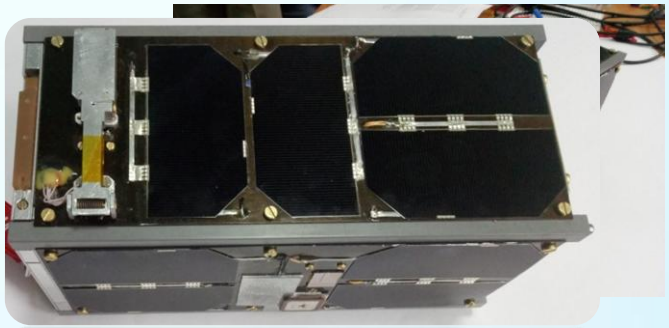
- Ємність акумулятора:

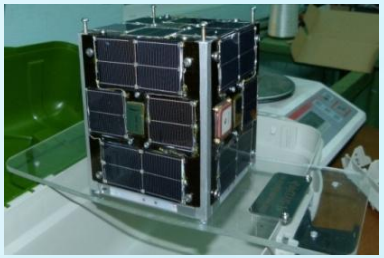
30 Вт•год (3.3 В, 9.2 А•год)



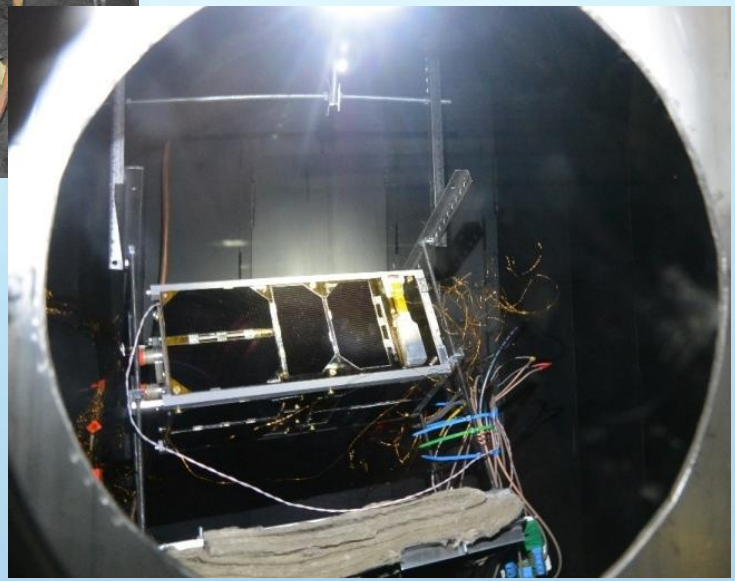
Випрбування супутників PolyItan

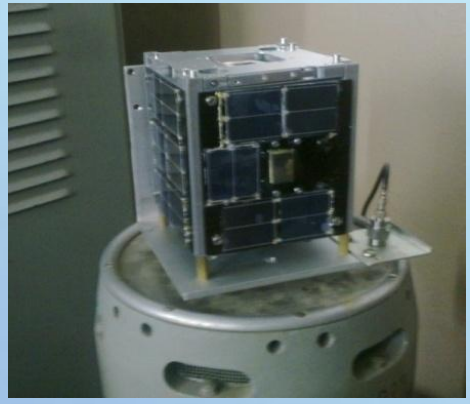






Радіаційні тести
e+, p+





Вібротести

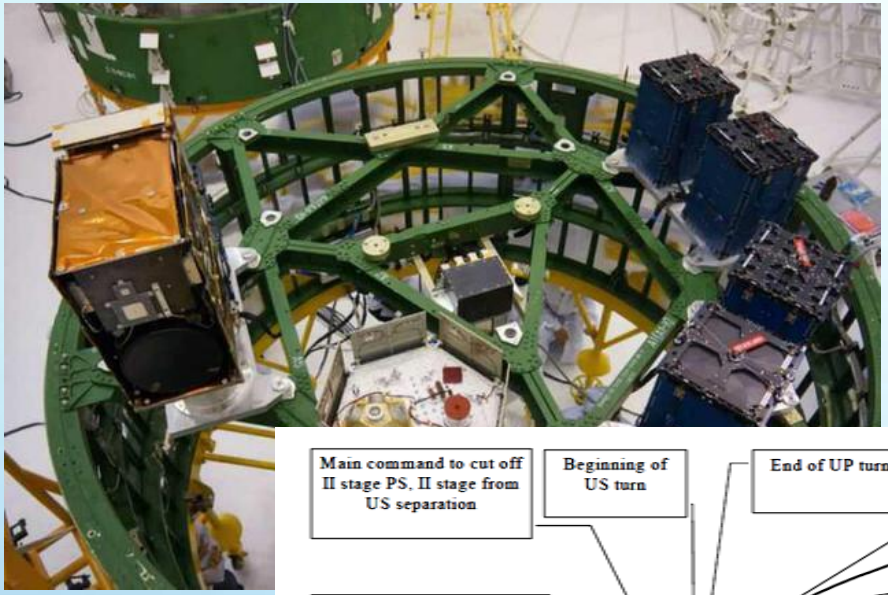
Термовакуумні випробування

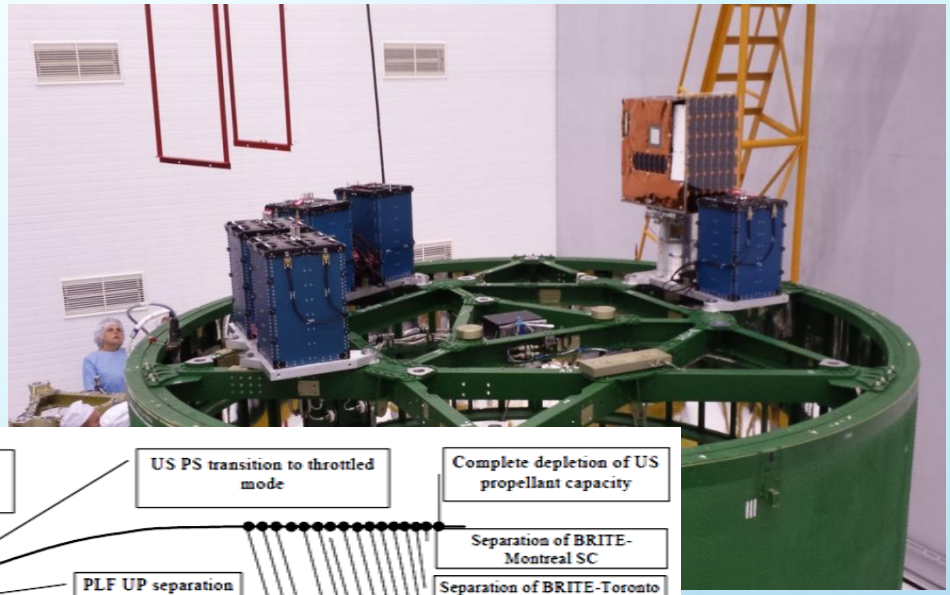
Інформація у медіа про запуск 33 космічних апаратів ракетою РС-20 (Дніпро-1)

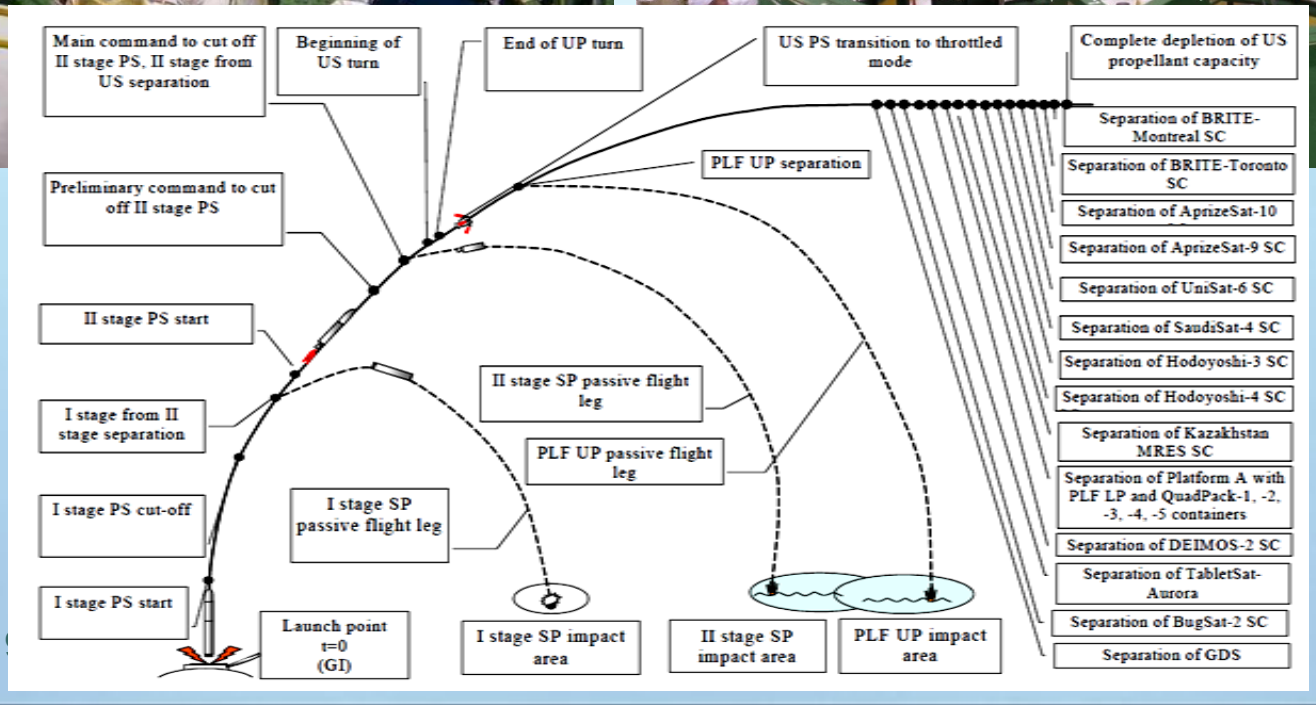
Підготовка та пуск ракети Дніпро-1

Космічні апарати

Казахстану, Іспанії, **Україні**, Аргентини, Бельгії, Бразилії, Данії, Ізраїлю, Сінгапуру, США. Місце знаходження - п. Ясний (Росія)



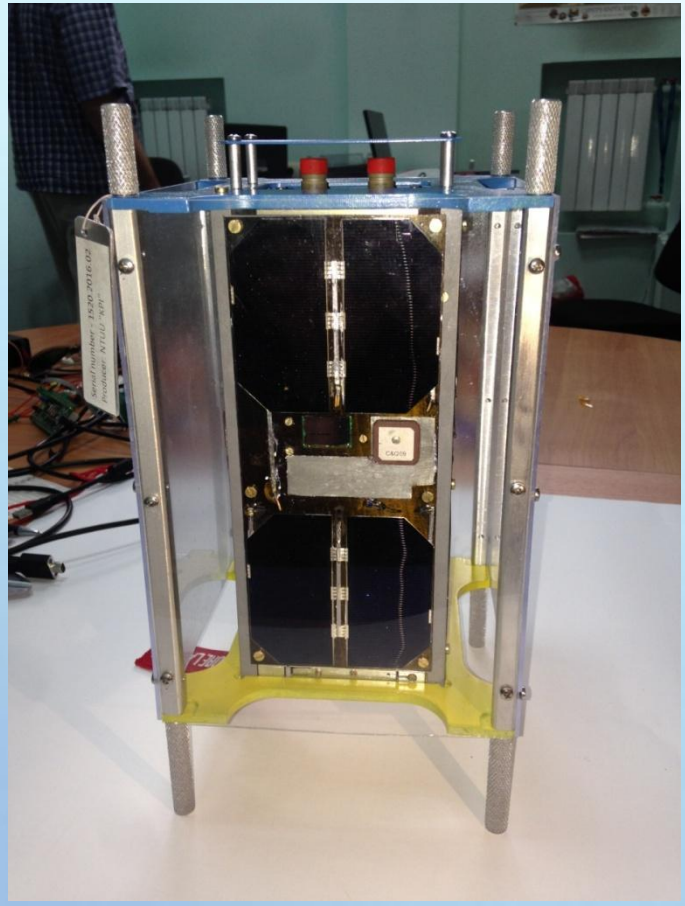


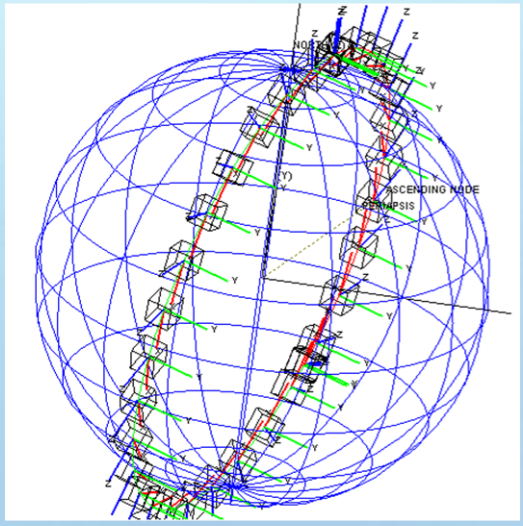


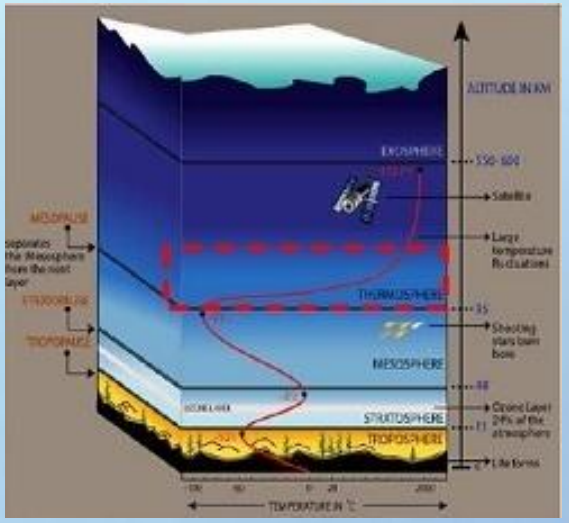
Другий наносупутник КПІ: ПоліІТАН-2(PolyITAN-2-SAU, формат 2U-CubeSat)

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

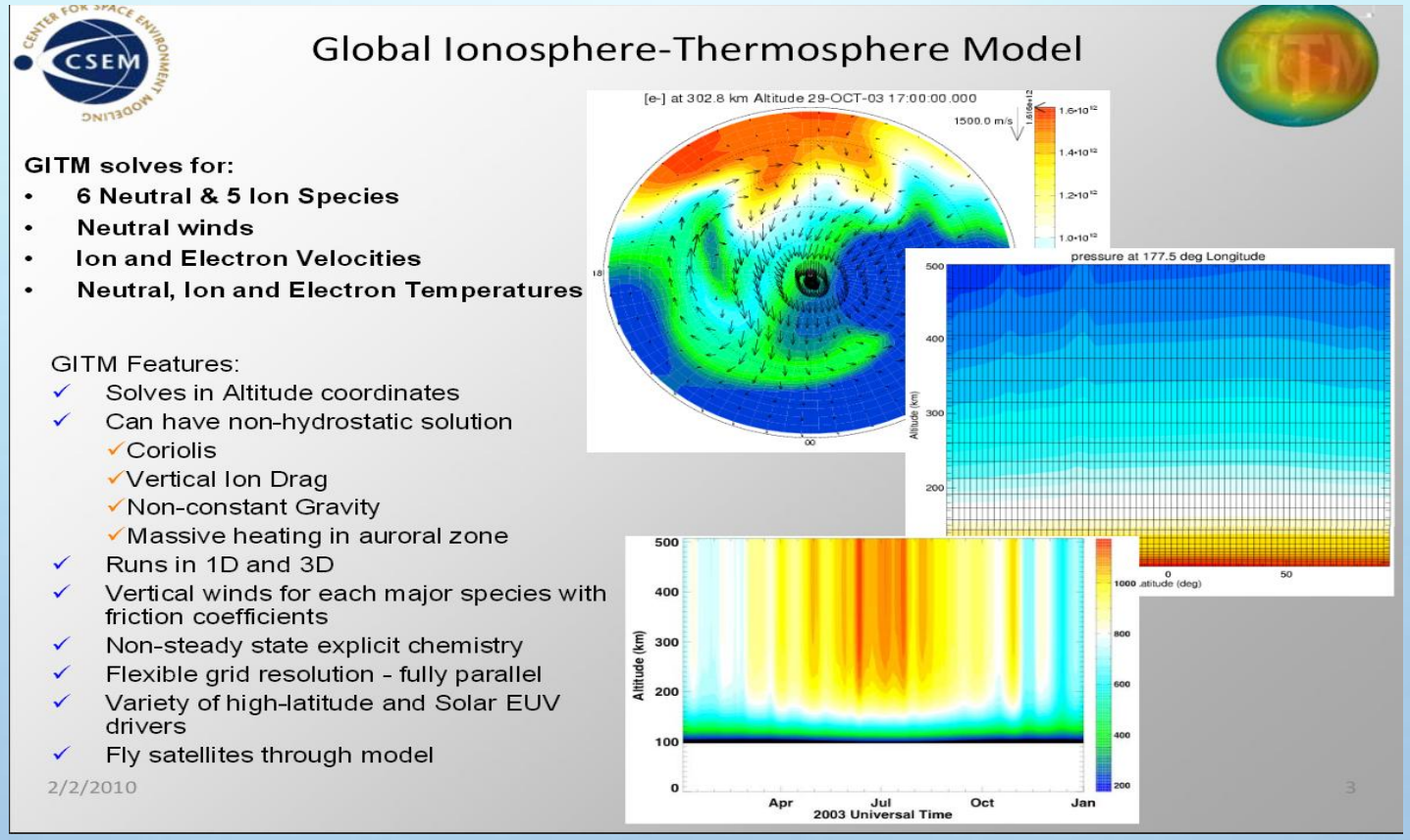
QB50, an FP7 Project



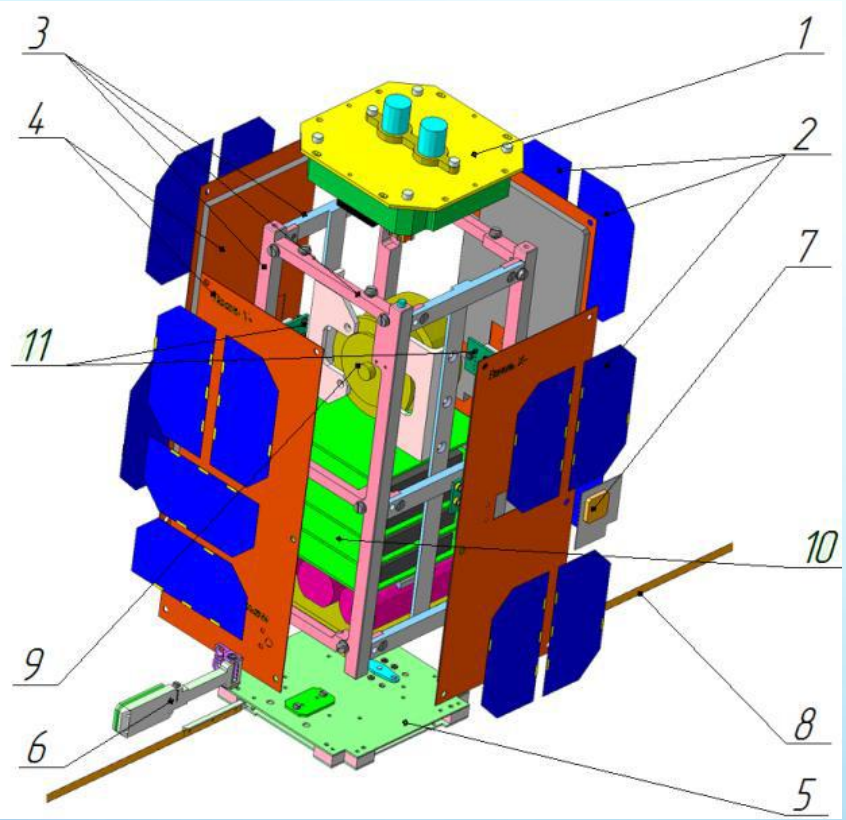


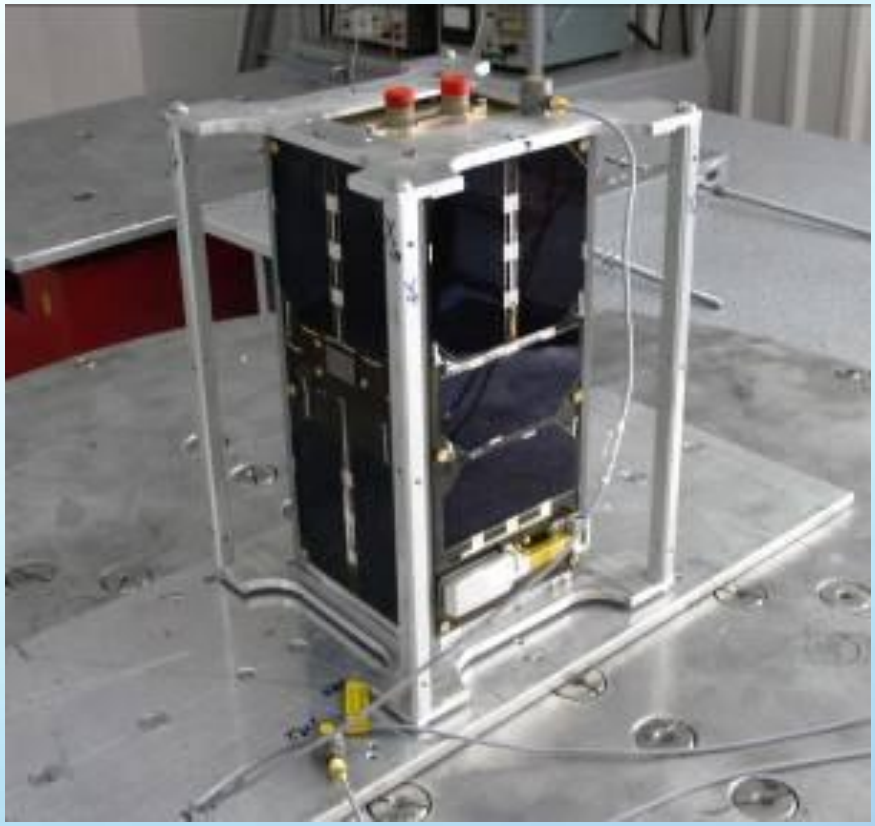


Наносупутник **PolyITAN-2-SAU** є частиною міжнародної мережі QB50 для багатоетапних вимірювань в іоносфері та нижній термосфері. Цей проект Європейського Союзу керує інститут фон Кармана (Бельгія).
Отримані дані до Глобальної Моделі Іоносфери-Термосфери - GITM використуться для створення та порівняння баз даних і, головне, в якості інструменту для прогнозування атмосферних аномалій.



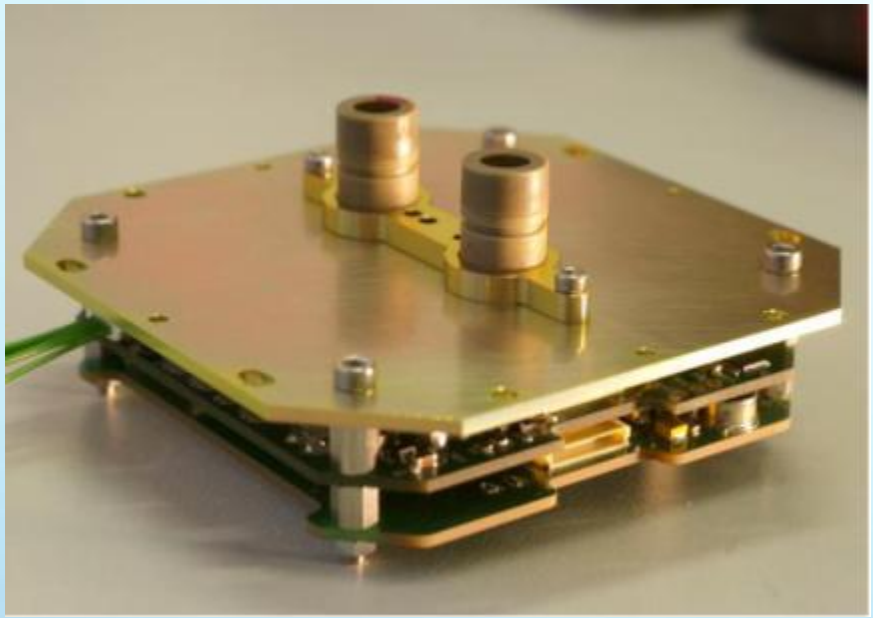
Склад супутника PolyITAN-2-SAU та його транспортне положення

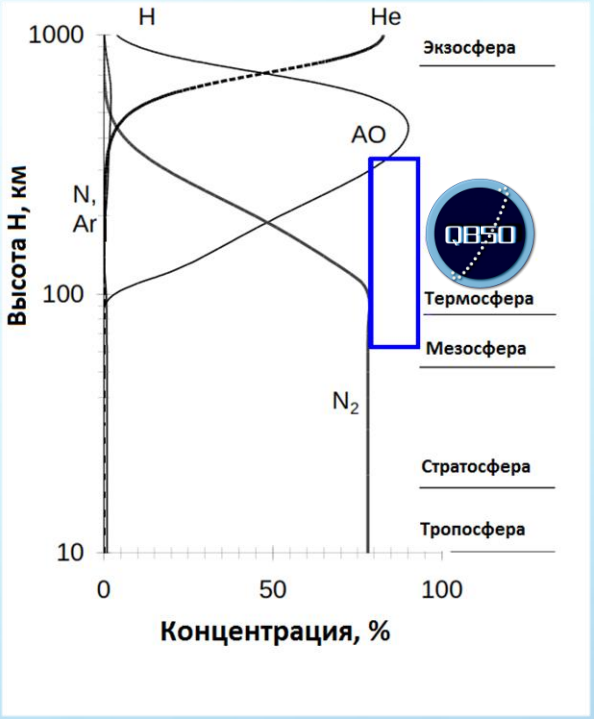




1 - корисне навантаження (FIPEX); 2 - Сонячні елементи; 3 - Каракас супутника; 4 - Сотопанелі; 5 - Антенний модуль; 6 - Магнітометр; 7 - Антена GPS/Glonass; 8 - Радіоантена; 9 - Маховик; 10 - Електронна платформа; 11 - Датчик напрямку на Сонце

Корисне навантаження PolyITAN-2-SAU





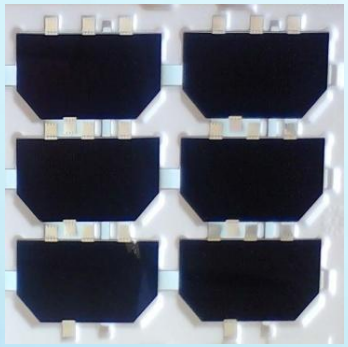
FIPEX (Flux Probe Experiment) - експериментальний датчик забору зустрічного потоку, здатний розрізняти і вимірювати характеристики атомарного і молекулярного кисню. Атомарний кисень представлений більше інших частинок на висоті 90-380 км, його оцінка є визначальним чинником у моделі атмосфери.

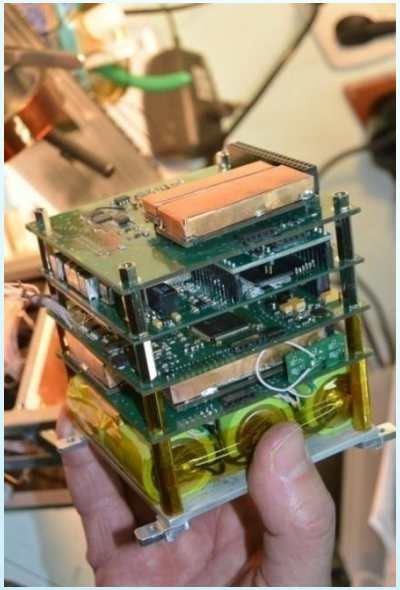
Основні параметри PolyITAN-2-SAU

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. - швидкість «вниз», kbit/s	 1,2 9,6
Точність орієнтації: - по тангажу - по рисканню - по повороту	 ≈ 2° ≈ 5° ≈ 5°
Орбіта	415-90 км інклінація - 51,5 ^{0}
Запуск з	МКС
Тривалість роботи (на 03.2018)	10 місяців

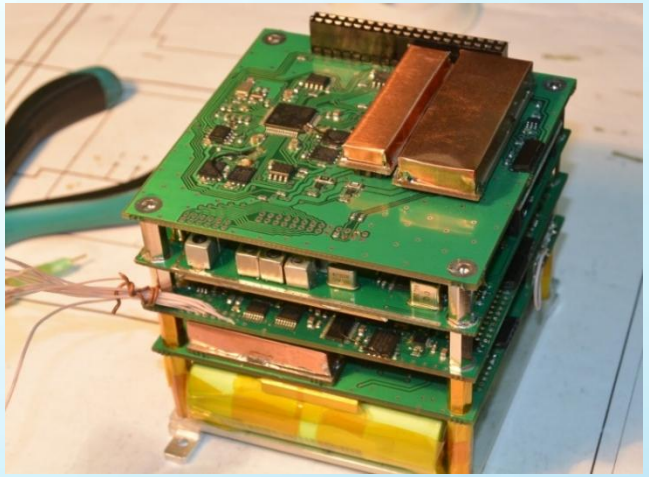
Підсистеми PolyItan-2-SAU

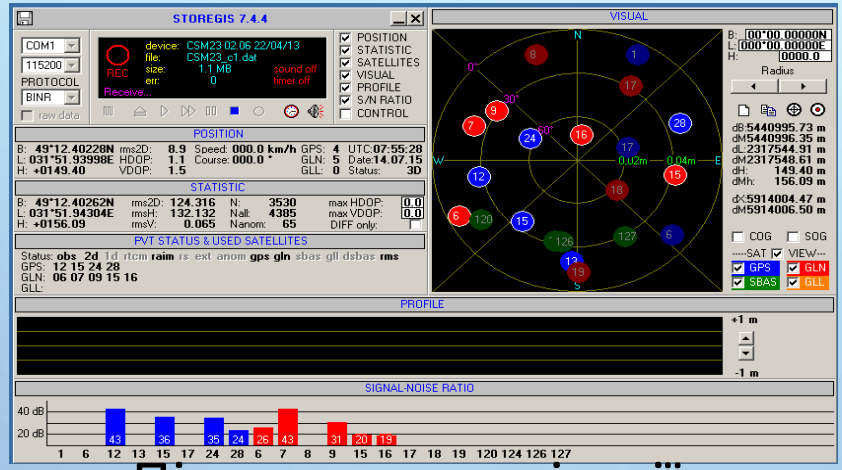
Підсистема живлення



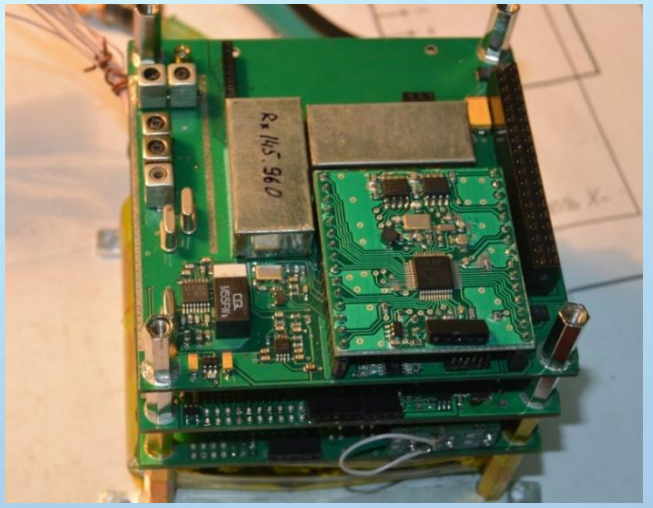


Центральний процесор та система обробки даних



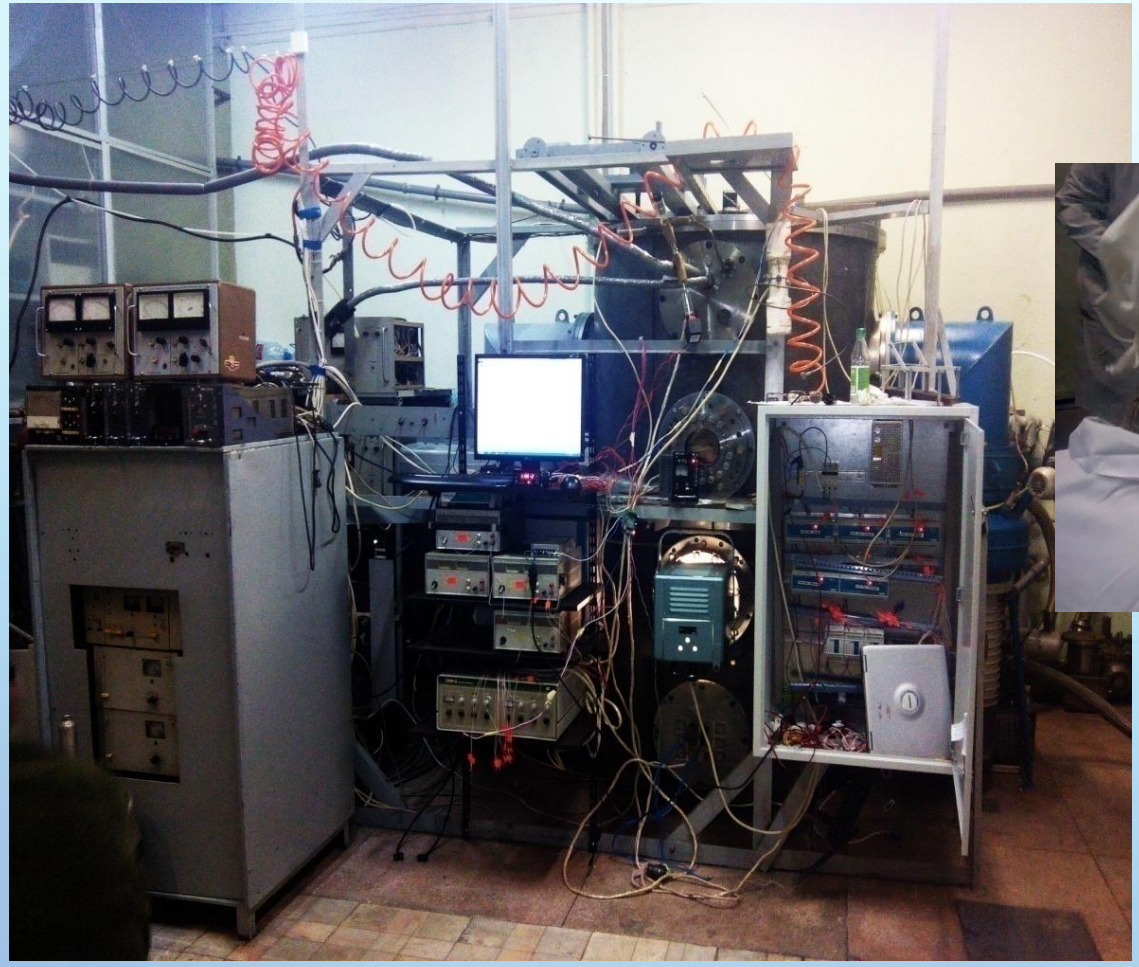


Підсистема навігації GPS/GLONASS



Радіоканал

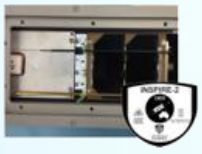
Налаштування програмного забезпечення вимірювальної системи і стенд ТВК-2,5 перед термовакуумними випробуваннями інженерної та льотної моделей наносупутників (НТУУ КПІ, Київ).

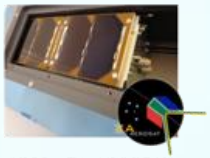


Наносупутники, що запускалися ракетою Atlas V до МКС за проектом QB50

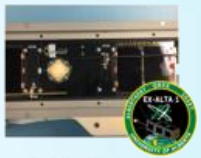
AU01 - SUSat
University of Adelaide

AU02 - UNSW-EC0
University of New South Wales

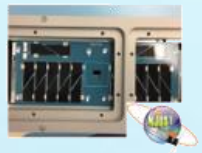

AU03 - INSPIRE-2
University of Sydney

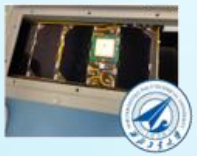

AZ01 - ZA-AEROSAT
Stellenbosch University

AZ02 - nSIGHT-1
SCS Space


CA03 - ExAlta-1
University of Alberta

CN02 - Lilacsat-1
Harbin Institute of Technology

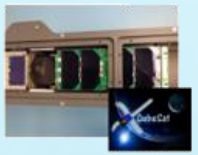

CN03 - NJUST-1
Nanjin University of Science and Technology


CN04 - AoXiang-1
Northwestern Polytechnical University

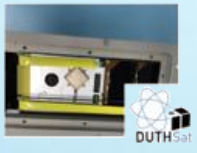
DE02 - SOMP2
Technische Universität Dresden

ES01 - QBITO
Universidad Politécnica de Madrid

FI01 - Aalto-2
Aalto University


FR01 - X-CubeSat
École Polytechnique

FR05 - SpaceCube
École des Mines ParisTech

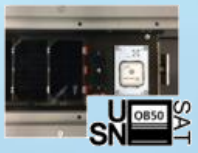

GR01 - DUTHSat
Democritus University of Thrace

GR02 - UPSat
University of Patras

IL01 - 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 & Lulea University of Technology

TR01 - BeEgleSAT
Istanbul Technical University

TR02 - HAVELSAT
Havelsan

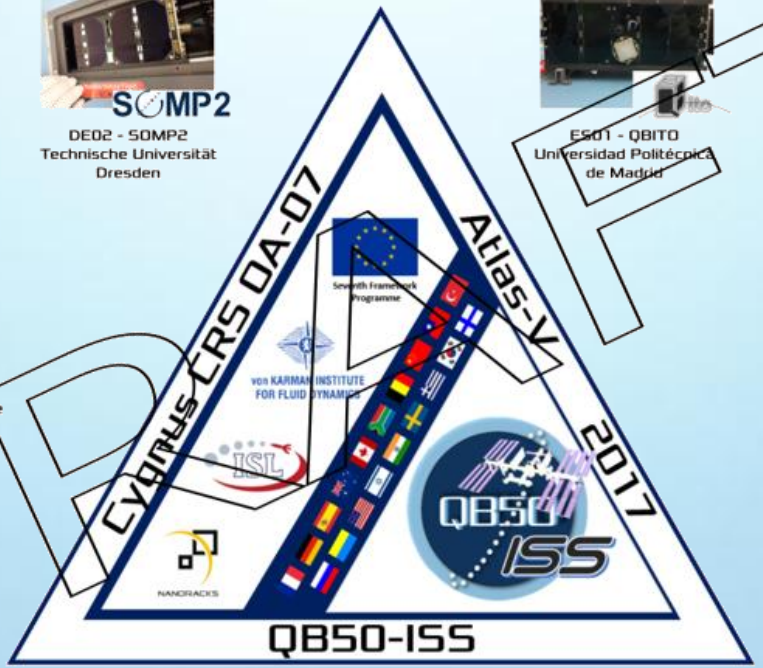
TW01 - PHOENIX
National Cheng Kung University

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

US01 - Challenger
University of Colorado

US02 - Atlantis
University of Michigan

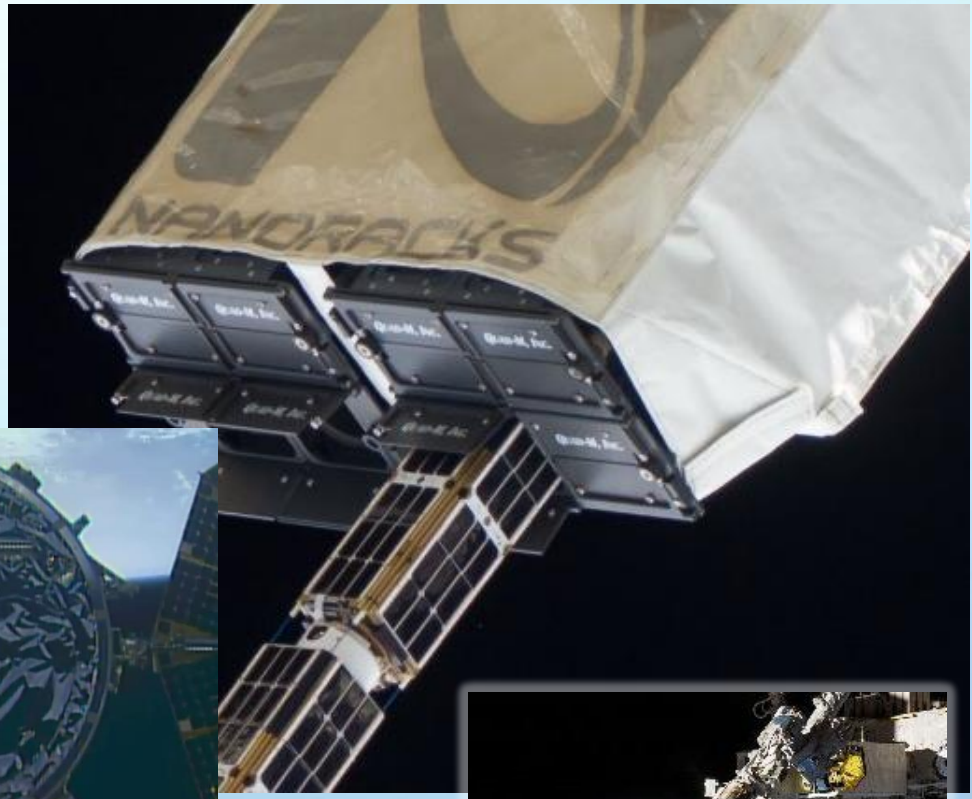
US04 - Columbia
Universidad del Turabo

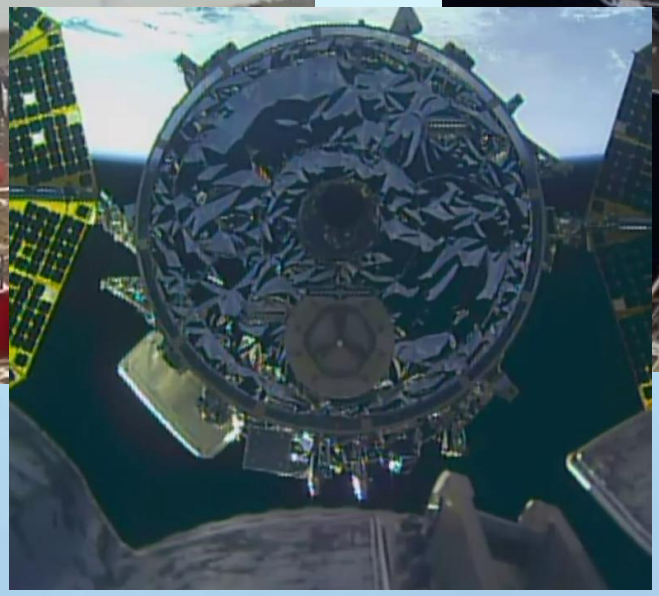


Вивід PolyITAN-2 –SAU ракетою Atlas V та запуск з Міжнародної Космічної Станції (травень 2017)

Запуск ракети Atlas V

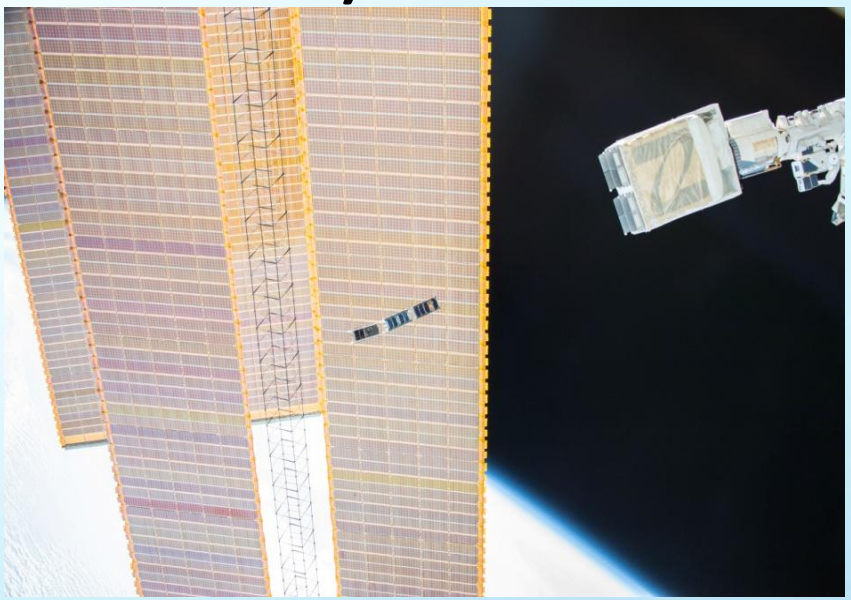
Технологія запуску з МКС





Стиковка модуля з МКС

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



Структура наземного сегменту в НТУУ «КПІ»

437 Mhz
прийом
145 Mhz
передача

Антена з
поворотним
механізмом

TRX AX.25
аудіопотік

RDP

TCP/IP
HTTPs/XML

Наземна станція

Операції, пл
анування, к
оманди

Звіти та
вибірки
даних

Сервер
додатків

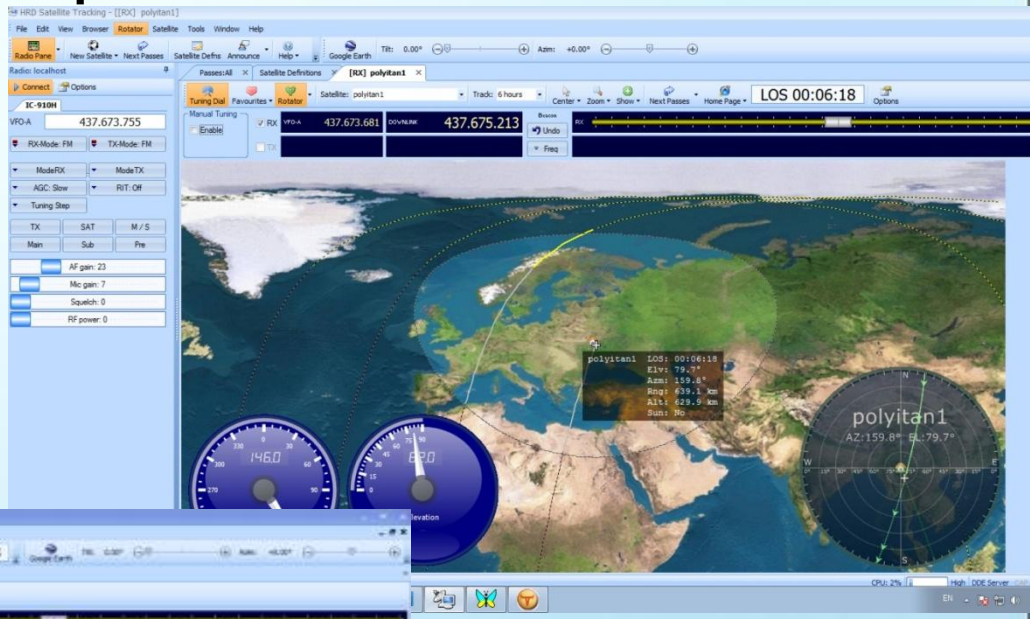
База
даних
Postgess

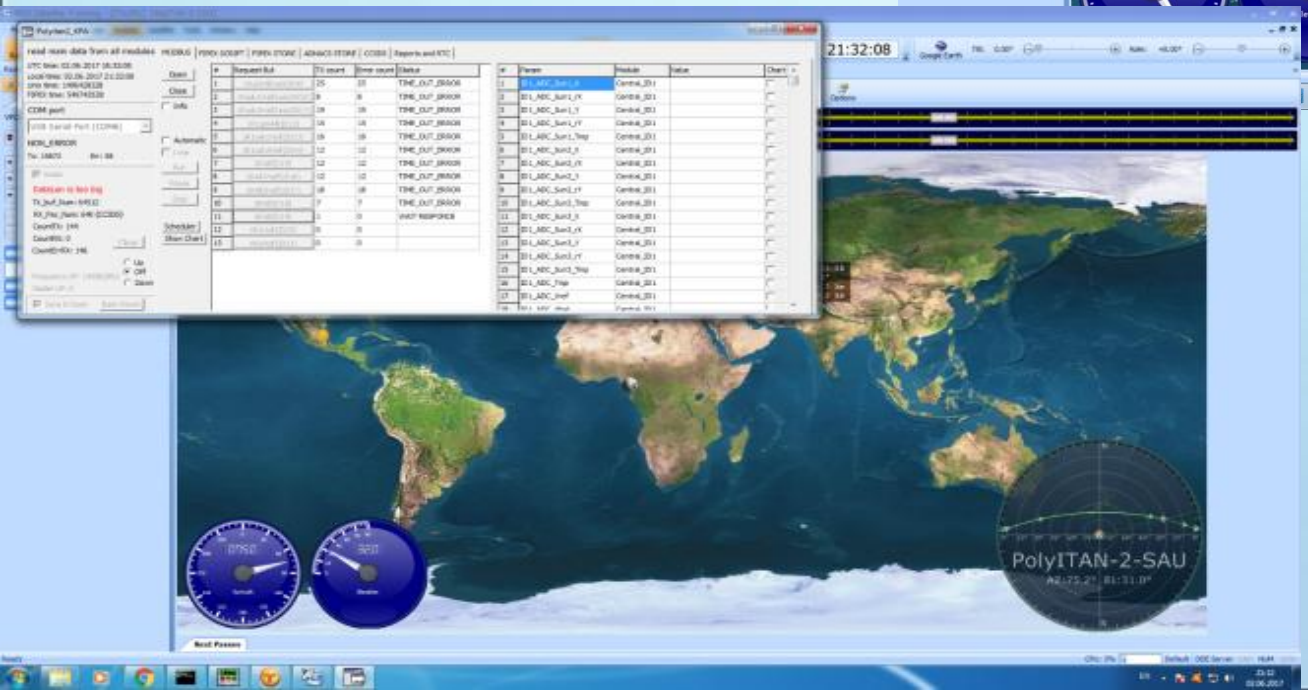
API для зовнішніх користувачів

Центр контролю польоту

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

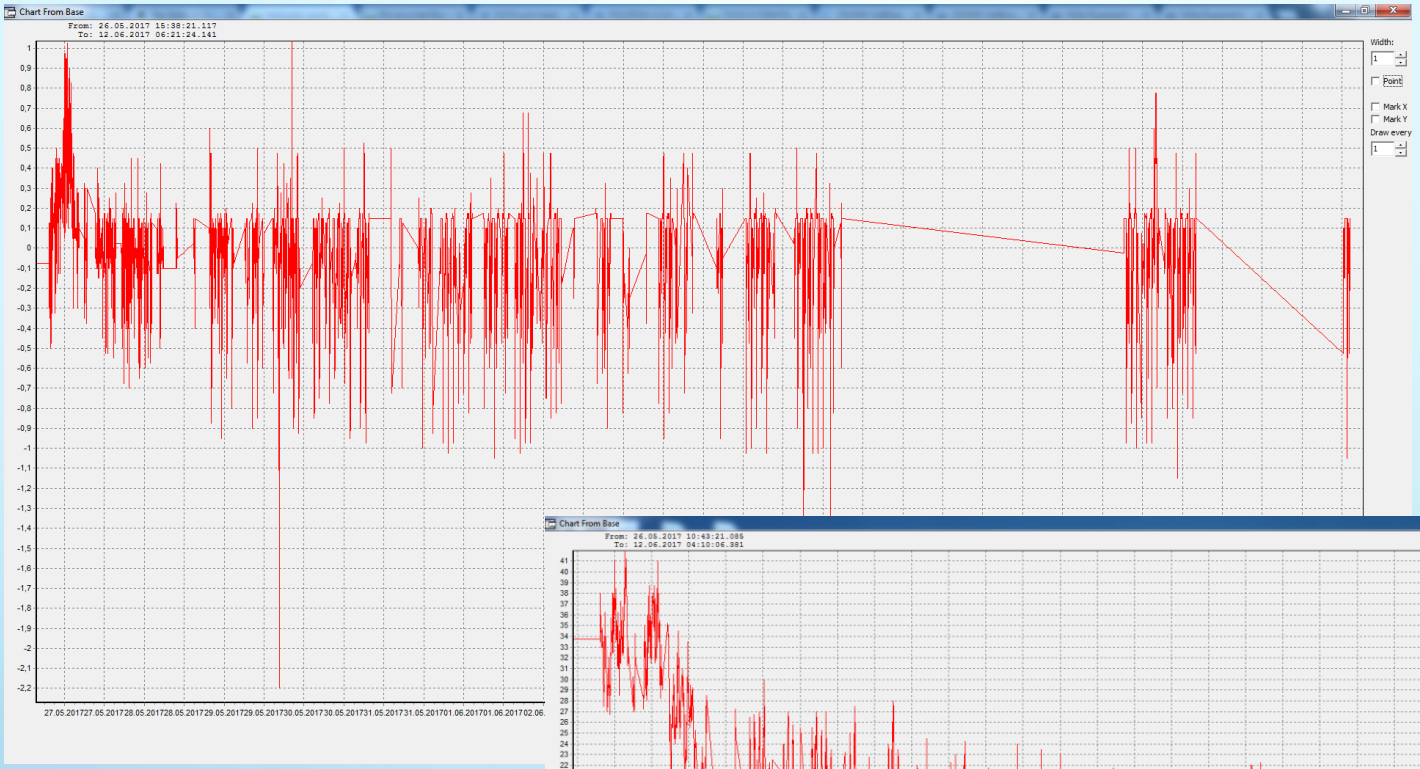
PolyITAN- 1



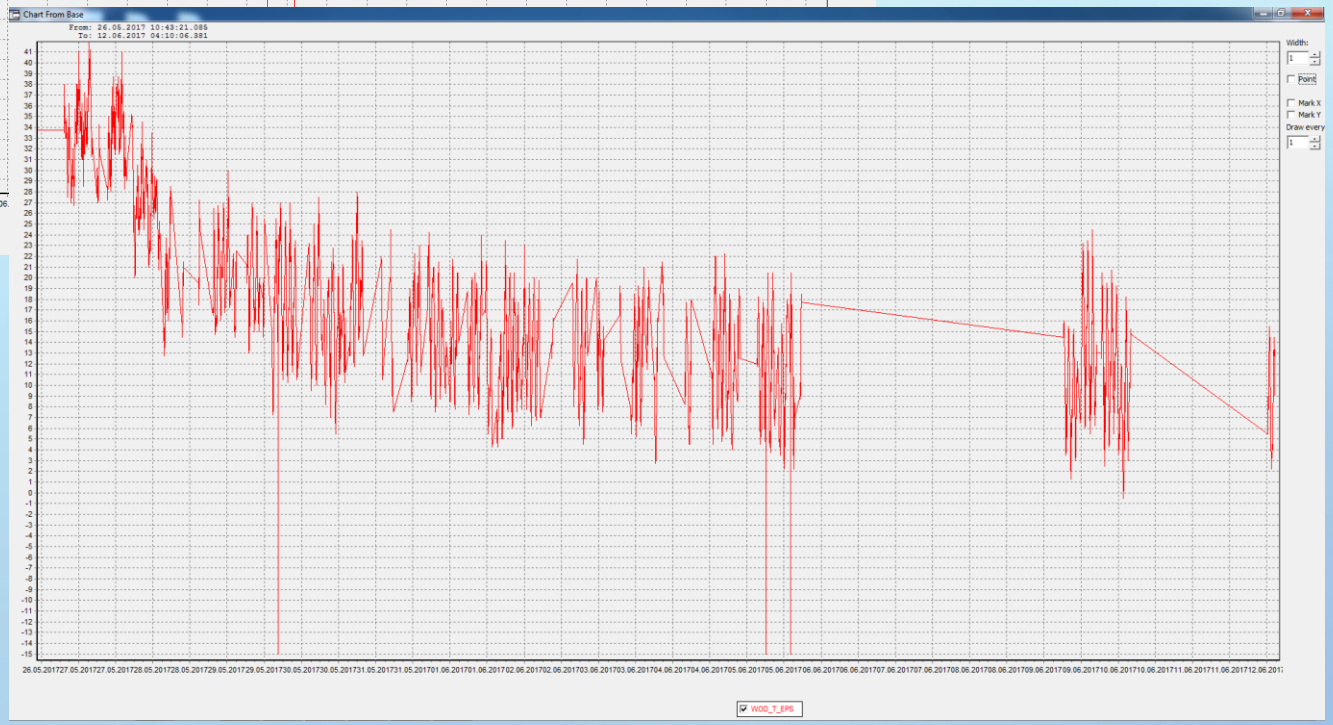


PolyITAN-2 –SAU

Телеметрія з PolyITAN-2-SAU



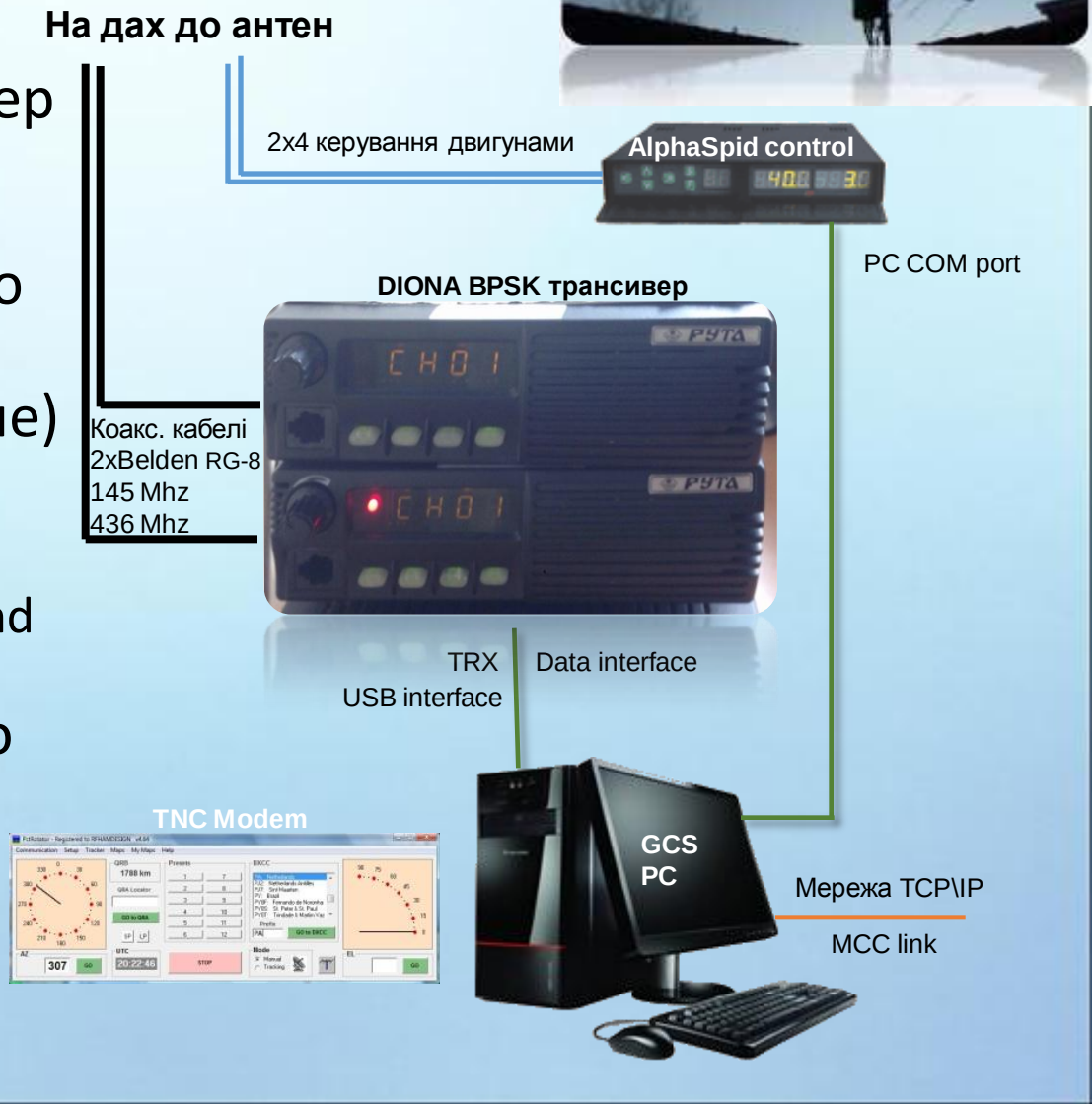
Вимірювання напруги АКБ



Температура плати електрозабезпечення 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



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 енергоєффектиного теплового режиму роботи електронних платформ, обґрунтовані технології забезпечення довготривалого знаходження на орбітах Землі наносупутників "ПоліІТАН-1" (PolyITAN-1) та "ПоліІТАН-2"(PolyITAN-2-SAU) формату "CubeSat».
- Створені наукові основи технології проектування ,конструювання та виготовлення підсистем наносупутників "ПоліІТАН-1" (PolyITAN-1) та "ПоліІТАН-2"(PolyITAN-2-SAU) формату «CubeSat».
- Розроблені методи оптимізації забезпечення запасу енергії наносупутників при мінімізації енергетичних витрат, а також створені алгоритми побудови циклограм системи електроживлення, враховуючи енергоспоживання наносупутників 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 наносупутників
- Створена технологія відпрацювання системи навігації супутників з прибором -імітатором навігаційних сигналів СН 3810, відпрацьован інтерфейс обміну між навігаційними елементами наносупутника
- 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 наносупутників
- створені наносупутники Polyitan-1 та Polyitan-2-SAU, які на даний момент є єдиними в Україні

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

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