

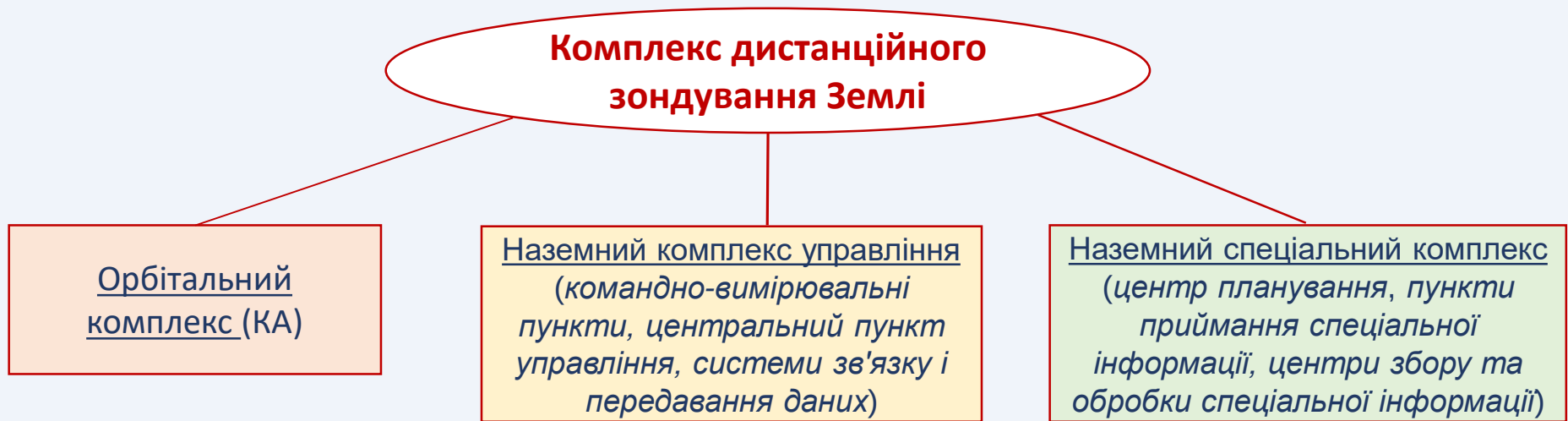
ЛЕКЦІЯ № 15

**ТЕМА: РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ СКЛАДНОЇ
ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ.**

ПИТАННЯ:

1. Основи побудови комплексу дистанційного зондування Землі з космосу.
2. Вибір тактико-технічних рішень при створенні космічного апарату ДЗЗ.
3. Вибір тактико-технічних рішень при створенні наземного комплексу управління космічним апаратом ДЗЗ.
4. Вибір тактико-технічних рішень при створенні комплексу приймання спеціальної інформації.

Лектор: професор кафедри комп'ютерної інженерії та кібербезпеки доктор технічних наук, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки КОВБАСЮК Сергій Валентинович

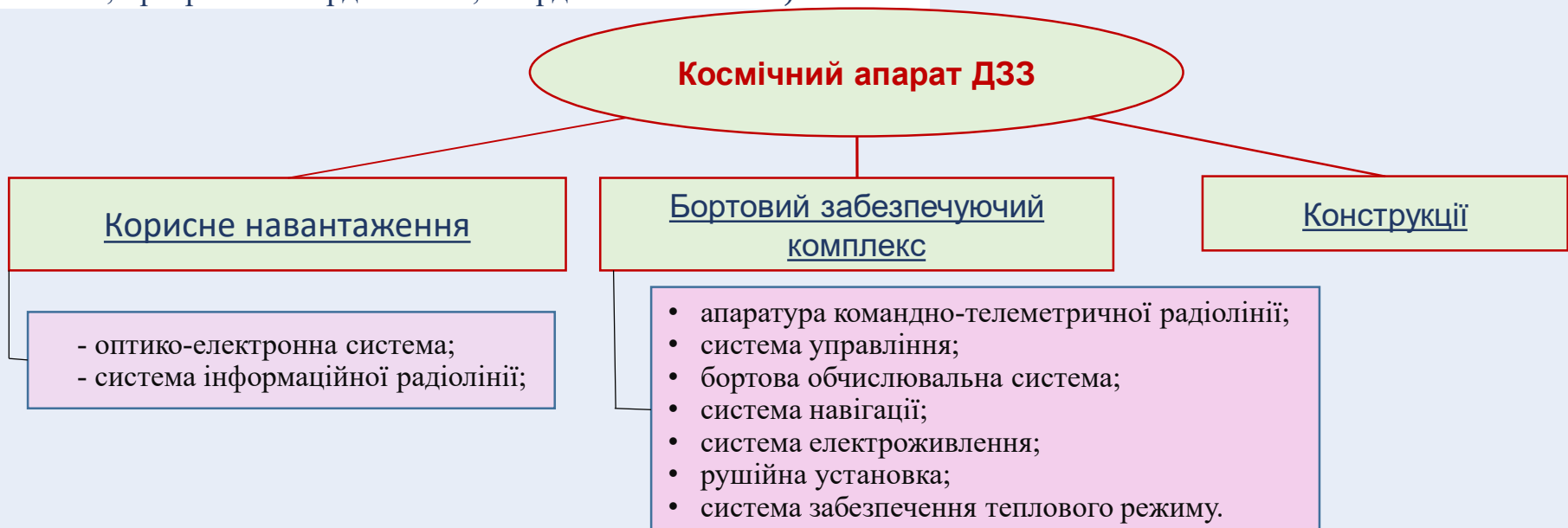


ЗАВДАННЯ 1. Створення КА ДЗЗ**Питання, які потрібно вирішити до запуску КА:**

вибір типу орбіти;
вибір висоти орбіти;
вибір ексцентриситу;
вибір місцевого середнього сонячного часу у висхідному вузлі орбіти;
вибір спектральних ділянок знімання;
вибір детальності знімків (просторової розрізненності, кут відвороту КА від надиру);
вибір режиму знімання оптико-електронного обладнання (трасовий, кадровий, стереоскопічний в монохромному або багатоспектральному режимі);
вибір методу управління бортовою апаратурою (програмно-часовий, програмно-координатний, координатно-часовий).

Обмеження, які потрібно врахувати:

добові, сезонні, погодні умови в районах знімання;
досягнення можливої детальності знімків;
протиріччя між детальністю знімка та його розміром;
протиріччя між шириною смуги розвідки і якістю зображення на краю смуги;
вплив якості засобів орієнтації, стабілізації КА і швидкості відвороту на можливості отримання розвідувальних даних.



ПРИЙНЯТІ РІШЕННЯ:

1. Тип орбіти: кругова соняно-синхронна

2. Висота орбіти : 500..550 км

3. Місцевий час знімання на висхідному витку: 10..12 год.

4. Вибір спектральних діапазонів: монохром + 4-5 VNIR

5. Просторова розрізненість: 0,8..1,5 м

6. Кут відвороту КА: 30 град.

7. Вибір методу управління – координатно-часовий

8. Режим знімання: кадровий (+ трасовий) [залежно від можливостей апаратури]



ЗАУВАЖЕННЯ:

- 
1. Розмір смуги знімання – 500 км;
 2. Ширина кадра знімання – 7,5 км (розрізненість 0,8 м) / 15 км (розрізненість 1,5 м);
 3. Поворне знімання одної ділянки – через 4-5 діб; використання угруповань КА значно підвищує оперативність спостереження;
 4. Ефективність оптико-електронного спостереження на широтах вище 60 град. – 20-25% корисних знімків;
 5. На продуктивність та швидкість переорієнтації з одного об'єкта на інший впливають:
 - швидкість відвороту КА: необхідна швидкість – 2..3 град/с;
 - швидкість стабілізації КА коливається від 4 до 10 с;
 - залишкова швидкість стабілізації впливає на розмитість зображення (вимога - менше 0,001 град/с);
 6. Точність визначення положення КА: за даними GPS похибка складає 10 м по геоцентричним координатам; для підвищення геоприв'язки необхідно застосовувати постоброблення даних.



0,8 м

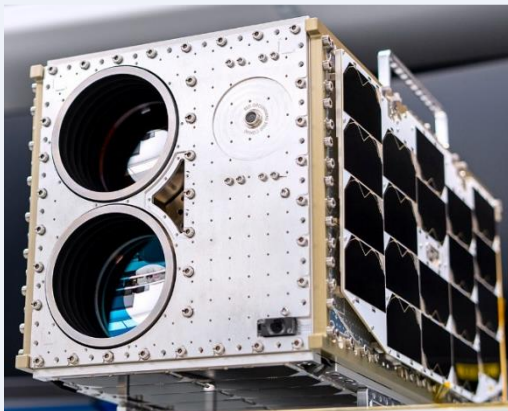
1,5 м



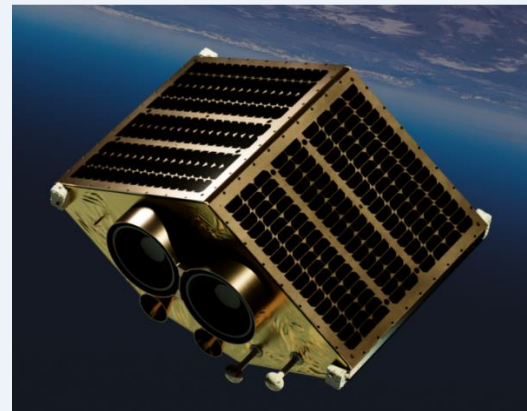
Розрізнявальна здатність

пов'язана з:

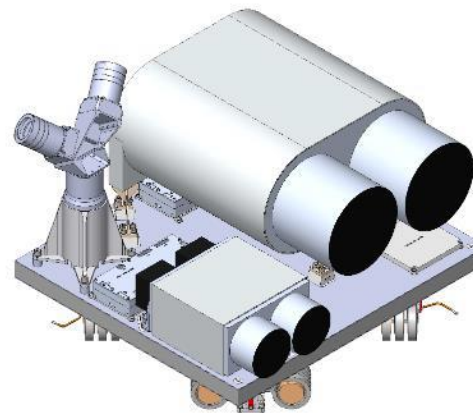
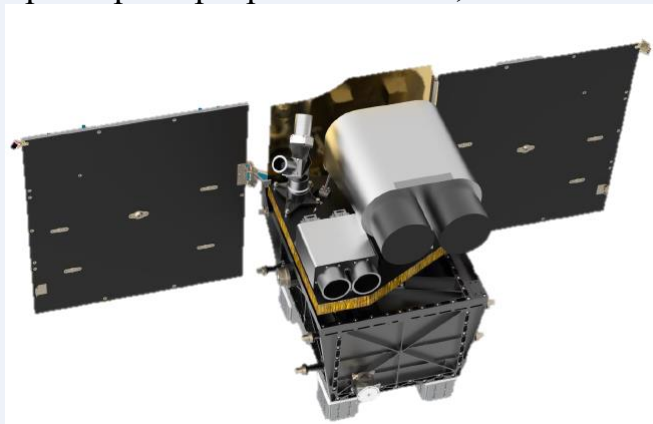
- розміром кадра знімання;
- переліком завдань, які вирішуються;
- розмірами КА;
- вартістю КА і запуску.



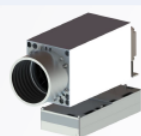
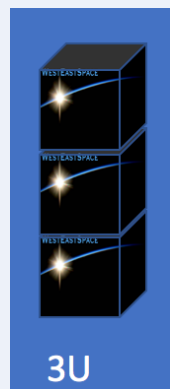
КА "ContecSat-1/Oreum" (Південна Корея), 16U, 32 кг, 7 діапазонів, просторова розрізненість 1,5 м



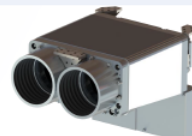
КА «EOS SAT-1» (ПАР), 176 кг, 9 діапазонів, розрізненість 1,4 м, подвоєна смуга 42 км.



КА «GARAI», 115 кг, 10 спектральних діапазонів, розрізненість 1 м і краще



Single channel



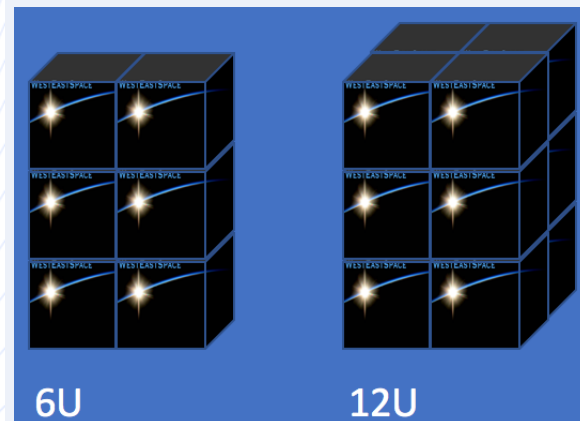
Dual channel

Physical

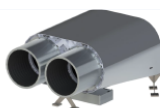
Mass	<4 kg	<6 kg
Volume optomechanics	308 x 114 x 100 mm ³ (~3U)	308 x 216 x 115 mm ³ (~6U)
Volume electronics ⁽¹⁾	209 x 96 x 46 mm ³ (~2U)	209 x 96 x 46 mm ³ (~2U)

Imaging

Resolution ⁽²⁾	1.65 m	1.65 m
Swath ⁽²⁾	13 km	from 13 km up to 26 km
Multispectral bands ⁽³⁾	PAN, VNIR (up to 4)	PAN, VNIR (up to 8)



Single channel



Dual channel

Physical

Mass	<8 kg	<15 kg
Volume optomechanics	593 x 276 x 308 mm ³	593 x 471 x 308 mm ³
Volume electronics ⁽¹⁾	209 x 96 x 46 mm ³	209 x 96 x 46 mm ³

Imaging

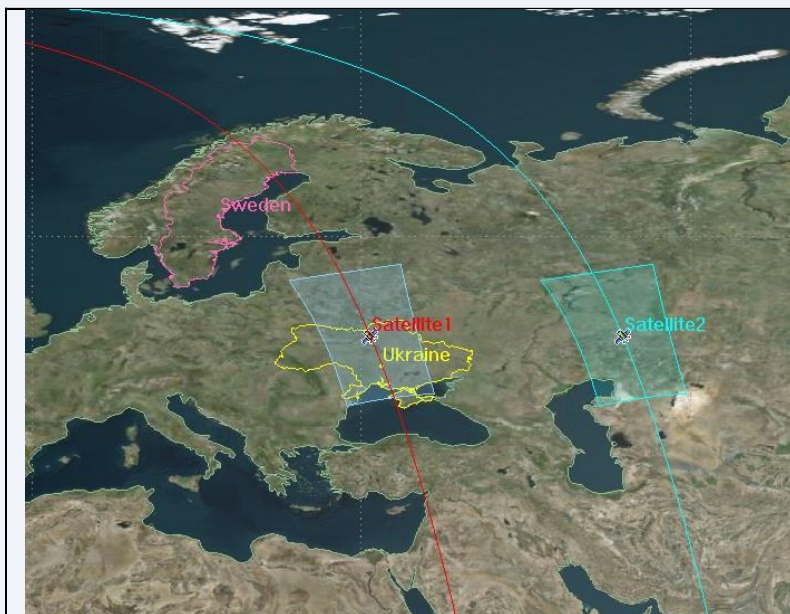
Resolution ⁽²⁾	0.8 m	0.8 m
Swath ⁽²⁾	7.5 km	15 km
Multispectral bands ⁽³⁾	PAN, VNIR (up to 5)	PAN, VNIR (up to 5)

FIELD OF REGARD: Off nadir
30° half angle

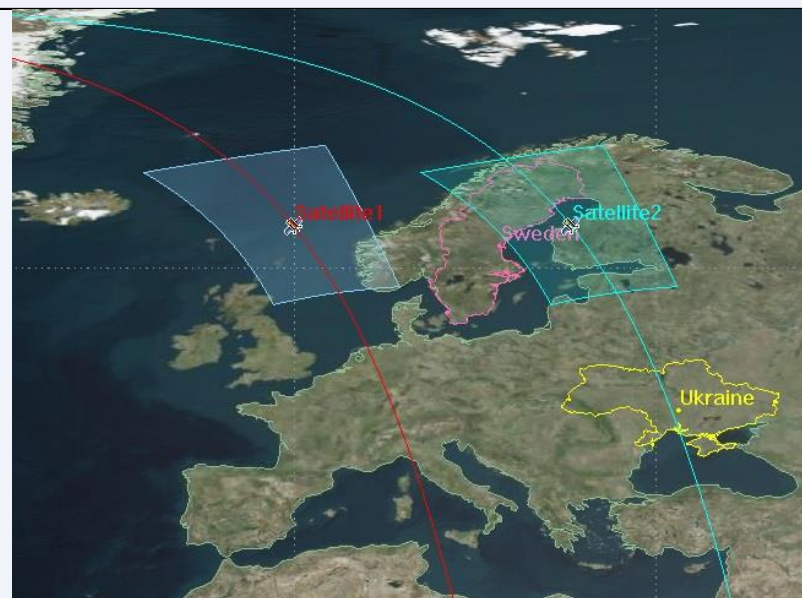
MANEUVERABILITY:
Maneuvers at ~1 deg/s

KEY FEATURES:
Video, Backscanning, Non-Linear
Tracking and Off-Nadir Scanning
Agility Modes

КА «GARAI», 115 кг, 10 спектральних діапазонів, розрізненість 1 м і краще



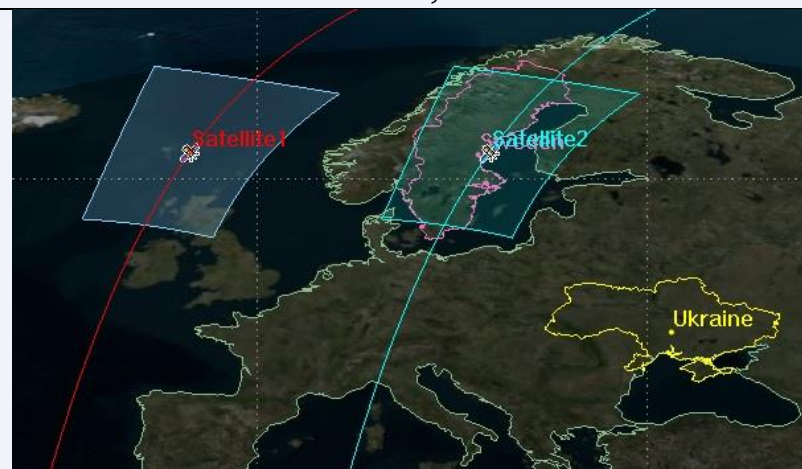
18.05.2025, 09:40



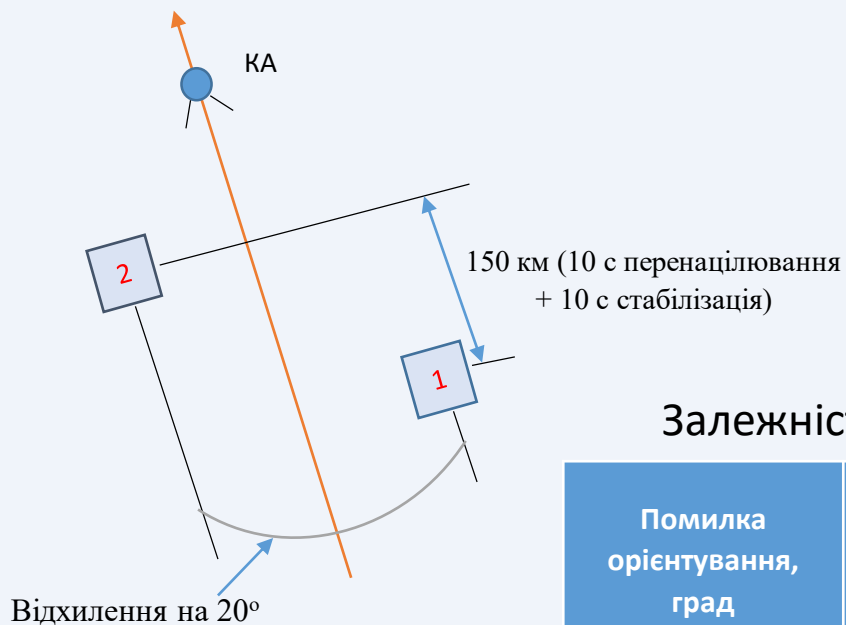
18.05.2025, 11:20



19.05.2025, 00:10



19.05.2025, 01:45



Залежність мінімальної курсової відстані між районами в залежності від швидкості переорієнтації

Залежність точності знімання від помилки орієнтації

Помилка орієнтування, град	Висота, км	Зміщення, м	Розмір кадру 7x7 км, %	Розмір кадру 15x15 км, %
0,04	500	349,05	4,986	2,327
0,04	550	383,96	5,485	2,560
0,04	600	418,86	5,984	2,792
0,08	500	698,00	9,971	4,653
0,08	550	767,80	10,969	5,119
0,08	600	837,60	11,966	5,584



2. Вибір тактико-технічних рішень при створенні КА ДЗЗ

10

Параметри	Характеристики M16P Light	Характеристики M16P Mid	Характеристики M16P Max
Доступна потужність для корисного навантаження (при слідкуванні за Сонцем)	25 Вт	21.5 Вт	17.5 Вт
Потужність шини (при слідкуванні за Сонцем)	43 Вт	43 Вт	43 Вт
Маса корисного навантаження, що підтримується	22 кг / 21 кг з рушієм	21.5 кг / 20.5 кг з рушієм	21.5 кг / 20.5 кг з рушієм
Доступний об'єм корисного навантаження	13U / 12U з рушієм	13U / 12U з рушієм	13U / 12U з рушієм
Максимальна допустима маса КА	36 кг	36 кг	36 кг
Швидкість передачі даних та частоти			
UHF			
Uplink/Downlink	401–402 МГц (до 1.6 Кбіт/с)	401–402 МГц (до 1.6 Кбіт/с)	401–402 МГц (до 1.6 Кбіт/с)
S-діапазон			
Uplink	2025–2110 МГц (до 1 Мбіт/с)	2025–2110 МГц (до 1 Мбіт/с)	2025–2110 МГц (до 1 Мбіт/с)
Downlink	2200–2290 МГц (до 3 Мбіт/с)	2200–2290 МГц (до 3 Мбіт/с)	2200–2290 МГц (до 3 Мбіт/с)
X-діапазон			
Downlink	—	8025–8400 МГц (до 80 Мбіт/с)	8025–8400 МГц (до 80 Мбіт/с)
Абсолютна похибка визначення положення (1σ)	4.31°	4.31°	0.04° (типове значення*)
Абсолютна похибка виконання (1σ)	4.40°	4.40°	0.08° (типове значення*)
Швидкість повороту (Slew Rate)	X – 1.3°/с	X – 1.3°/с	X – 2.5°/с
	Y – 1.3°/с	Y – 1.3°/с	Y – 3°/с
	Z – 2°/с	Z – 2°/с	Z – 5°/с
Точність GPS	Визначення координати: ~100 м (10 м у системі ECEF)	Визначення координати: ~100 м (10 м у системі ECEF)	Визначення координати: ~100 м (10 м у системі ECEF)
	Визначення швидкості: 0.2 м/с (ECEF)	Визначення швидкості: 0.2 м/с (ECEF)	Визначення швидкості: 0.2 м/с (ECEF)
	Час: 50 нс (1σ)	(аналогічно)	(аналогічно)

ЗАВДАННЯ 1. Створення КА (продовження)



ОНВ Sweden є постачальником комплексних космічних послуг, супутників, а також підсистем космічних апаратів. Маючи понад 30 років успішного досвіду в широкому спектрі космічних місій на низькій та геостаціонарній орбіті, а також космічних апаратів для міжпланетних місій, ОНВ Sweden здобула першокласну репутацію, пропонуючи своїм клієнтам надійні та інноваційні рішення.



KONGSBERG

nano
avionics

Асортимент стандартних перевірених у польотах CubeSat розмірами 6U, 8U, 12U та 16U. Кожна стандартна супутникова шина CubeSat доступна у трьох конфігураціях – Light, Mid та Max, що пропонує гнучкість, яка найкраще відповідає конкретним вимогам замовника. За роки роботи запустили або виготовили понад 50 наносупутників.

ЗАВДАННЯ 2. Запуск КА



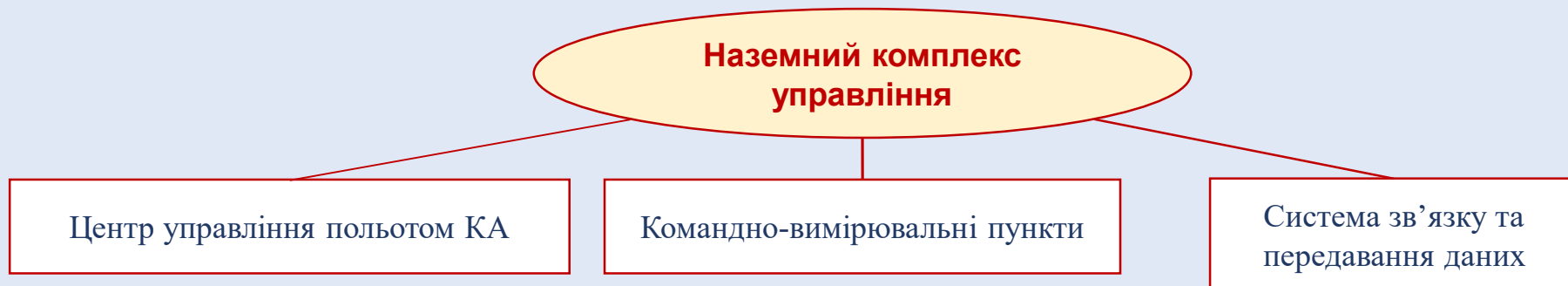
Типовий блок упаковки CubeSat для Falcon-9

ОРІЄНТОВНА ВАРТІСТЬ ЗАПУСКУ

SpaceX стягували 275000 доларів (дані за 2022 фінансовий рік) за 50-кілограмовий SmallSat / CubeSat для запуску на сонячно-синхронну орбіту (SSO).

SpaceX також надає інші послуги по запуску, такі як страхування запуску, розділові пружини для розгортання і додаткове паливо.

ЗАВДАННЯ 3. Створення наземного комплексу управління польотом КА.

**Завдання наземного комплексу управління:**

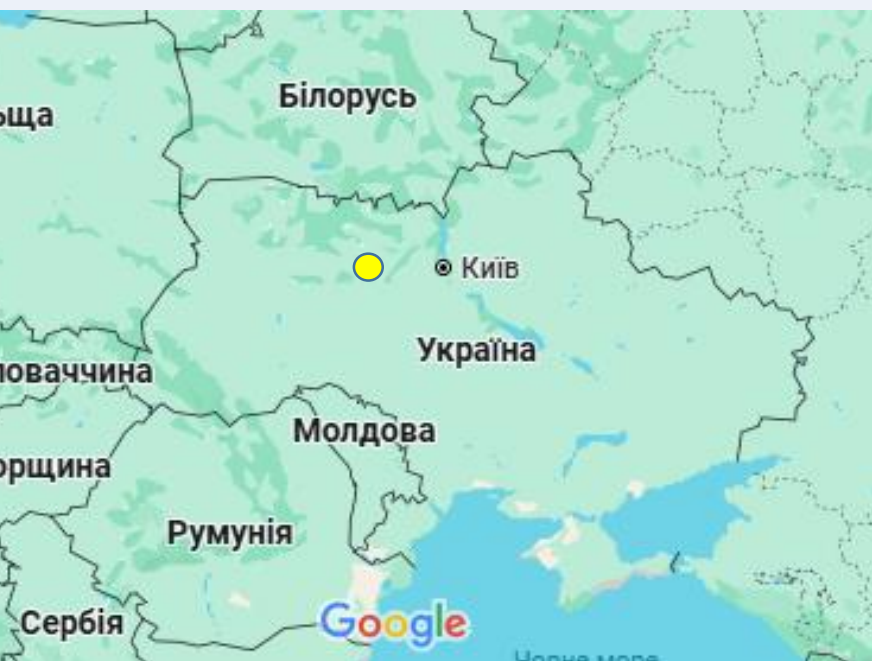
планування і командно-програмне забезпечення;
навігаційно-балістичне забезпечення;
контроль функціонування і аналіз стану бортового обладнання:

координація робіт по управлінню КА;
безпосереднє управління бортовою апаратурою і наземними технічними засобами наземного комплексу управління;
внутрішній і зовнішній інформаційний обмін.

**ЗАУВАЖЕННЯ:**

1. Управління КА здійснює установка – оператор космічної системи;

Центр управління комплексом ДЗЗ



Міжнародні стандарти

Командно-телеметричні станції космічних систем підпадають під стандарти, розроблені міжнародними організаціями, такими як:

- **CCSDS (Consultative Committee for Space Data Systems):** Міжнародна організація, яка розробляє стандарти для обміну даними та телеметрії в космічних системах. Основні документи включають:

- **CCSDS 401.0-B:** Стандарти радіочастот і модуляції для телеметричних і командних систем. **CCSDS 131.0-B:** Протоколи передачі телеметричних даних (TM Space Data Link Protocol).
- **CCSDS 232.0-B:** Стандарти для командного управління (TC Space Data Link Protocol).

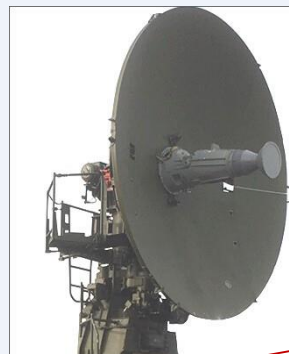
- **ITU (International Telecommunication Union):** Рекомендації

Міжнародного союзу електрозв'язку, зокрема:

- **ITU-R SA (Space Applications):** Регулюють розподіл частот для супутникового зв'язку, включаючи командно-телеметричні системи. Наприклад, діапазони S, X, Ku, Ka часто використовуються для КТС.
- **ITU-R M.1849:** Технічні та експлуатаційні вимоги до наземних станцій супутникового зв'язку.

Основні параметри в S- діапазоні:

- **Телеметрія (передача даних із КА на наземну станцію):**
 - 2200–2290 МГц (ITU-R SA.363-5);
 - ширина смуги залежить від типу модуляції (наприклад, BPSK/QPSK/PSK, як зазначено в CCSDS 401.0-B).
- **Командне управління (передача команд із наземної станції на КА):**
 - 2025–2110 МГц (ITU-R SA.1154) – використовується для передачі команд управління, включаючи корекцію орбіти, налаштування систем КА тощо.
- **Потужність і чутливість:** Наземні станції повинні відповідати вимогам ITU-R SA.1157 щодо рівнів потужності сигналу та чутливості приймачів, щоб забезпечити надійний зв'язок.



ЗАВДАННЯ 4. Створення наземного спеціального комплексу.

Наземний спеціальний комплекс

Центр приймання спеціальної інформації

Центр оброблення спеціальної інформації

Центр оперативного планування

Комплекс зв'язку та передавання даних

Завдання наземного спеціального комплексу:

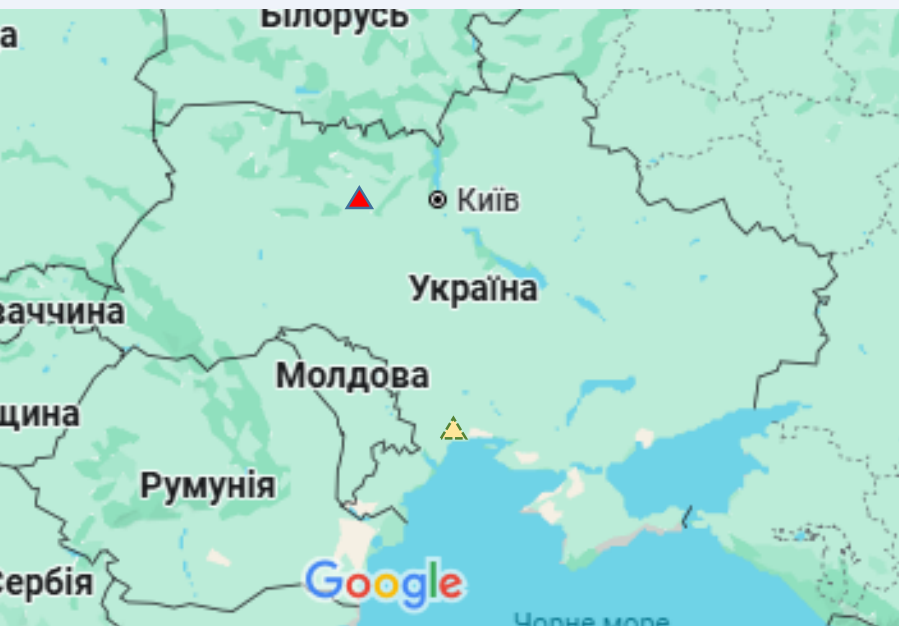
приймання, аналіз та узагальнення заявок користувачів на отримання зображень;
формування зведених замовлень;
планування роботи корисного навантаження КА;
розрахунок і видача в наземний комплекс управління плану роботи бортового спеціального комплексу;
планування роботи засобів НСК та видача для технічних засобів НСК цілевказань;
приймання, реєстрація, попереднє оброблення спеціальної інформації, що отримана з борта КА;
контроль якості отриманої інформації;
дешифрування спеціальної інформації, формування звітних матеріалів;
архівація та збереження спеціальної інформації;
формування і видача користувачам кінцевої продукції.



ЗАУВАЖЕННЯ:

1. Центри приймання СІ можуть бути стаціонарні і мобільні;
2. Завдання тематичного оброблення даних може бути покладено на комплекс косміної розвідки, а може вирішуватись іншими структурами.

Центри приймання спеціальної інформації



Передавання даних ДЗЗ регулюється такими стандартами:

- **CCSDS (Consultative Committee for Space Data Systems):**
 - ✓ **CCSDS 401.0-B (Radio Frequency and Modulation Systems):** Визначає частотні діапазони, типи модуляції та сигнальні параметри для передачі даних, включаючи ДЗЗ.
 - ✓ **CCSDS 727.0-B (Flexible Advanced Coding and Modulation Scheme for High Rate Telemetry Applications):** Визначає методи кодування та модуляції для високошвидкісної передачі даних ДЗЗ.
- **ITU (International Telecommunication Union):**
 - **ITU-R SA.1018:** Рекомендації щодо використання частот для супутників ДЗЗ.
 - **ITU-R SA.1157:** Технічні вимоги до наземних станцій для приймання даних ДЗЗ.
 - **ITU-R SA.1626:** Рекомендації щодо форматів і протоколів для передачі даних ДЗЗ.

Основні параметри приймання даних ДЗЗ (прийняті рішення):

- **Частотні діапазони:** Х-діапазон (8025–8400 МГц): основний для високошвидкісної передачі даних ДЗЗ (зображення високої роздільної здатності).
- **Модуляція:** QPSK, 8-PSK, 16-APSK (згідно з DVB-S2 або CCSDS 727.0-B).
- **Швидкість передачі:** до 300 Мбіт/с.
- **Кодування:** LDPC або Reed-Solomon для захисту від помилок (CCSDS 131.2-B).
- **Апаратне забезпечення:**
 - передавачі на борту КА: потужність від кількох ват до десятків ват.
 - наземні антени: діаметр від 3 до 12 метрів.