

ЛЕКЦІЯ № 4

ТЕМА: РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ КОСМІЧНОЇ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ.

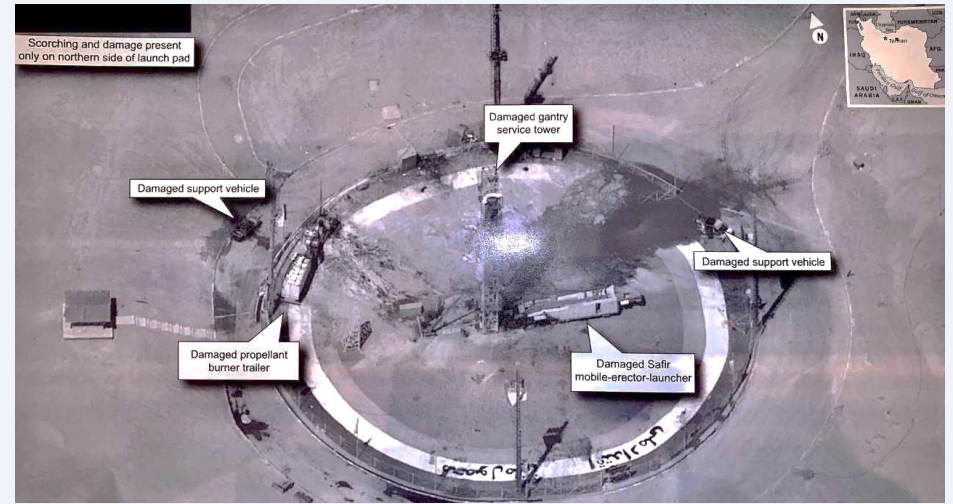
ПИТАННЯ:

1. Основи дистанційного зондування Землі з космосу.
2. Створення і запуск космічного апарату ДЗЗ.
3. Створення наземного комплексу управління КА і приймання даних ДЗЗ з космосу.

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



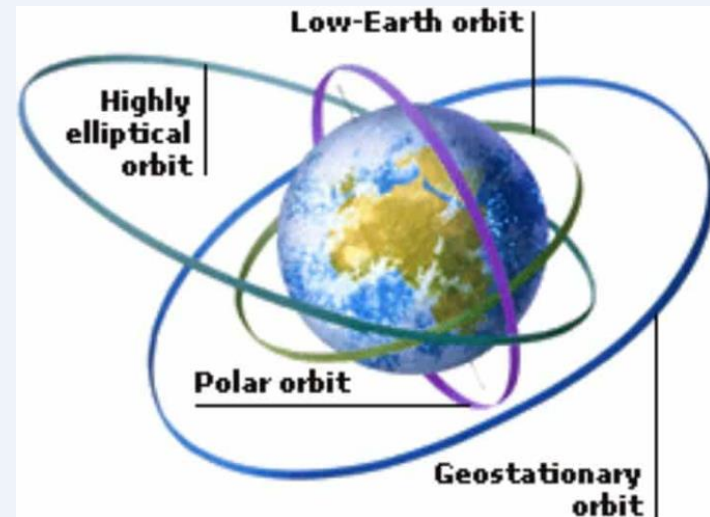
Космічний апарат КН-11



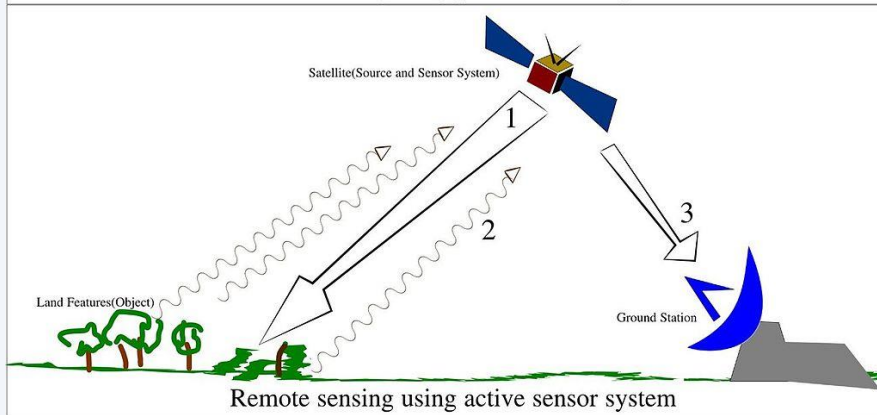
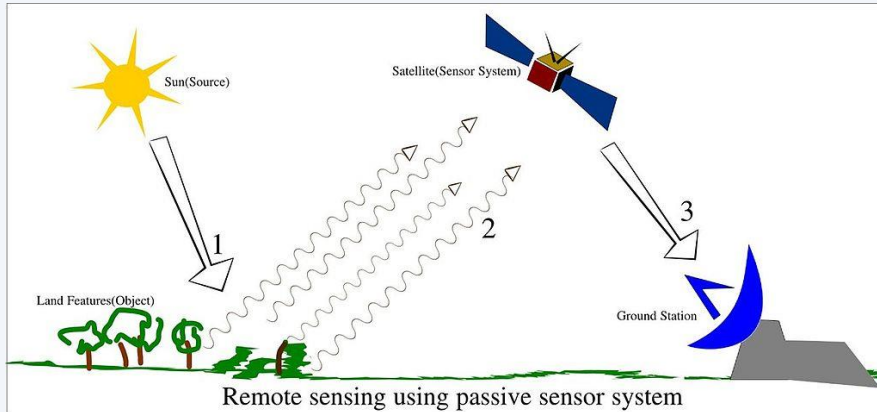
Ракетна база, Іран



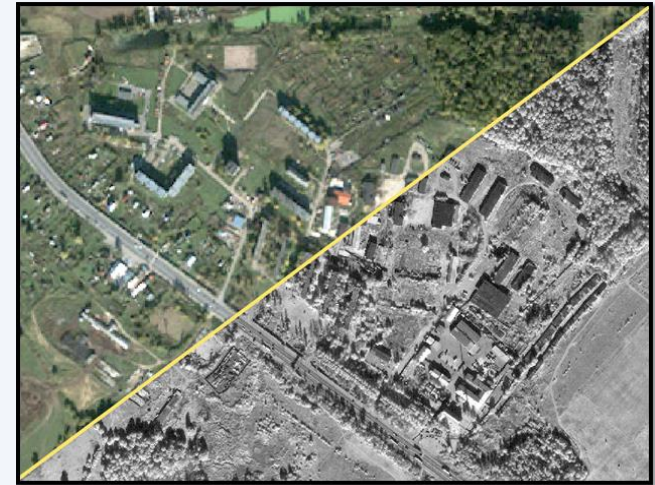
Космічний апарат EOS SAT-1



Види орбіт космічних апаратів



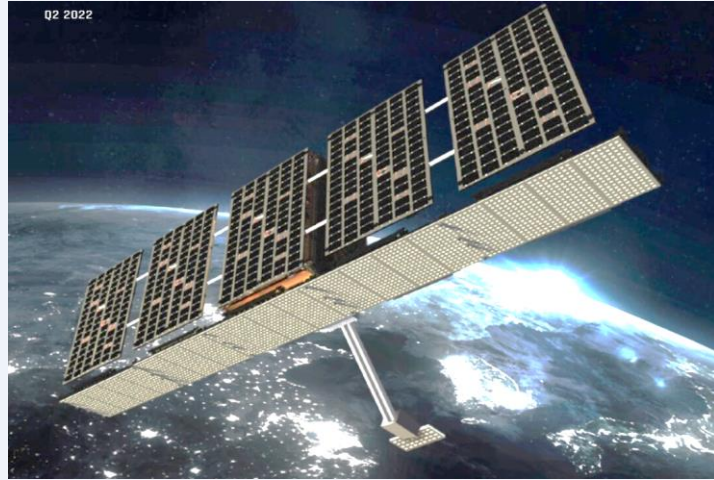
Сутність технології ДЗЗ з космосу



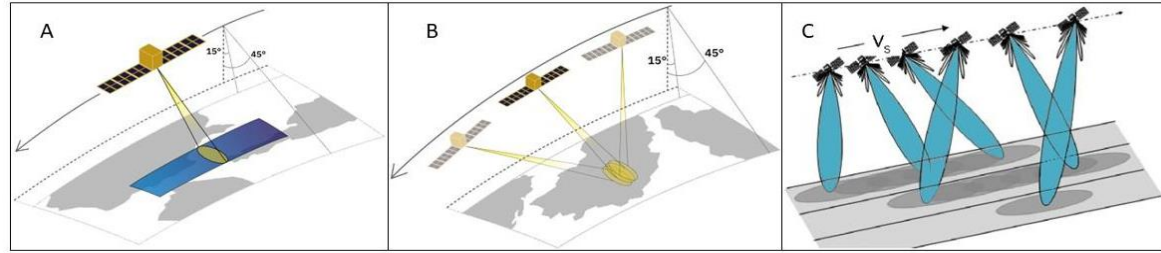
Зображення поверхні Землі у псевдоприродних кольорах та монохромне зображення



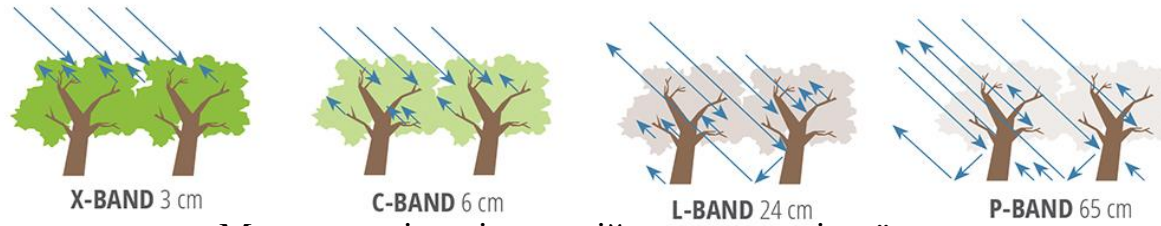
Зображення у ближньому інфрачервоному та видимому діапазонах радіохвиль



Космічний апарат ICEYE



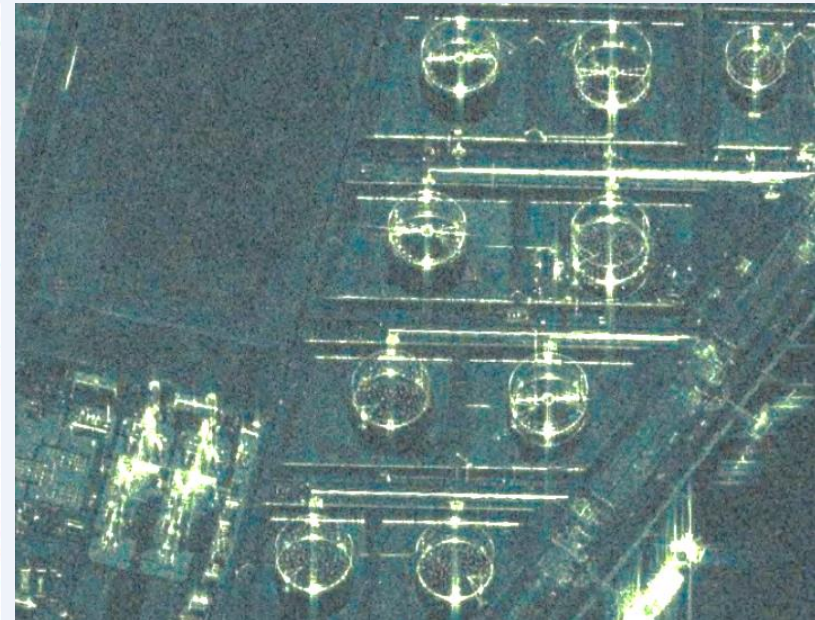
Режими роботи радіолокаційних КА



Можливості радіолокаційних хвиль різної довжини



Радіолокаційне зображення зони Суецького каналу



Паливні ємності порту Амстердама

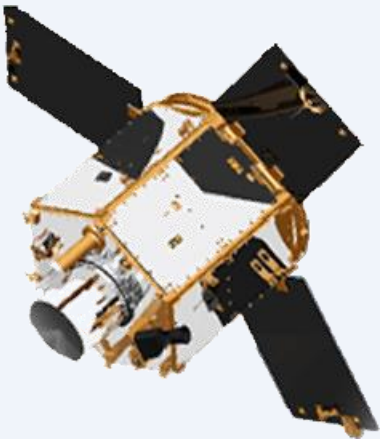
Комплекс ДЗЗ з космосу - сукупність функціонально взаємопов'язаних космічних апаратів (КА) і наземних технічних засобів, призначених для самостійного вирішення завдань у космосі або для забезпечення таких завдань у складі космічної системи.

Комплекс ДЗЗ з космосу

Орбітальний комплекс (КА)

Наземний комплекс управління
(командно-вимірювальні пункти, центральний пункт управління, системи зв'язку і передавання даних)

Наземний спеціальний комплекс
(центр планування, пункти приймання спеціальної інформації, центри збору та обробки спеціальної інформації)



ЗАВДАННЯ

створення комплексу ДЗЗ:

1. Створення космічного апарату.
2. Запуск космічного апарату на орбіту.
3. Створення наземного комплексу управління польотом КА.
4. Створення наземного комплексу планування використання КА та приймання даних космічного знімання.

ЗАВДАННЯ 1. Створення КА

Шлях 1

Національний виробник
(наприклад, КБ «ПІВДЕННЕ»)

Особливості:

1. Відсутність технології створення малих КА.
2. Закупівля складових КА та корисного навантаження за кордоном.
3. Орієнтовний термін створення КА 2-2,5 роки.

Негативний приклад.

Польський супутник “EagleEye”, виведений у космос 16 серпня 2024 року, перестав передавати телеметричну інформацію. Проблеми мають постійний характер. Супутник був розроблений повністю у Польщі з нуля.

Шлях 2

Іноземний виробник
(наприклад, «NANOSVIONICS», Литва)

Особливості:

1. Наявність відпрацьованої технологічної бази.
2. Досвід створення малих КА.
3. Мінімальний термін створення і запуску КА (орієнтовно – 1,5 роки).
4. Супроводження в ході експлуатації КА.
5. Нижча вартість.
6. Менша кількість посередників.
7. Компанія забезпечує сертифікацію продукції і запуск КА.

ЗАВДАННЯ 1. Створення КА (продовження)

Таблиця 4.1. Компанії – виробники малих КА

| Компанія | Країна |
|-----------------------------|----------------|
| AAC Clyde Space | Sweden |
| Argotec | Italy |
| C3S Electronics Development | Hungary |
| EnduroSat | Bulgaria |
| NanoAvionics | Lithuania |
| SkyLabs | Slovenia |
| Spacemanic | Czech Republic |

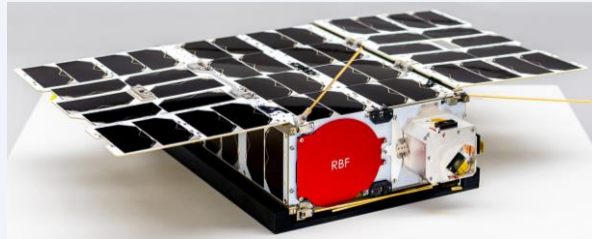
Компанія **NanoAvionics (Литва)** у 2022 році запустила до космосу 15 КА, у 2023 році – **21 КА**. Кількість співробітників 240 осіб.

У компанії NanoAvionics більше 47 замовників у різних країнах, вона співпрацює з NASA, Європейським космічним агентством, Thales Alenia Space та іншими компаніями, має відділення в Литві, США та Великої Британії.

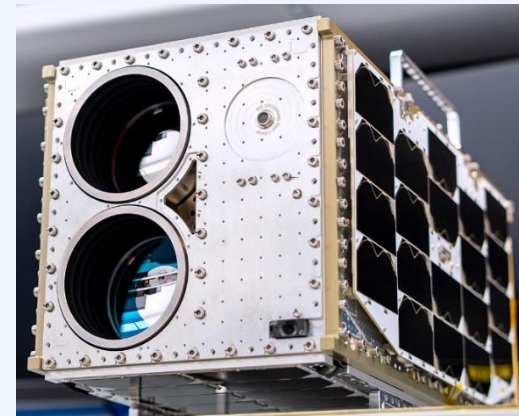
Приклади. 2024 рік.

Космічний апарат "Lemu Nge" (Чілі) – 6U наносупутник, оснащений гіперспектральною камерою для збору високоякісних зображень у понад 30 видимих та інфрачервоних спектральних діапазонах, просторова розрізненість 4,7 метра.

Космічний апарат "ContecSat-1/Oreum" розміром 16U для компанії CONTEC (Південна Корея) надаватиме мультиспектральні зображення в 7 діапазонах з роздільною здатністю 1,5 метра.



КА "Lemu Nge"



КА "ContecSat-1/Oreum"



1U Standard
Dimensions:
10 cm x 10 cm x 11 cm

3U Standard
Dimensions:
10 cm x 10 cm x 34 cm

Компанія-виробник:

1. Виробляє КА на базі відпрацьованої платформи.
2. Здійснює випробування КА на функціонування у космічному просторі.
3. Здійснює необхідне ліцензування апаратури КА.
4. Вирішує питання щодо запуску КА.

ЗАВДАННЯ 1. Створення КА (продовження, вибір типу корисного навантаження)

Типи ДЗЗ

Оптико-електронна

Радіолокаційна

Вибір просторової розрізненості бортового комплексу КА

Переваги:

1. Велика номенклатура випробуваних КА.
2. Більша (за радіолокаційні КА) продуктивність.
3. Широкий спектр відпрацьованого програмно-алгоритмічного забезпечення оброблення космічних знімків.



0,8 м



1,5 м

Примітка 2:

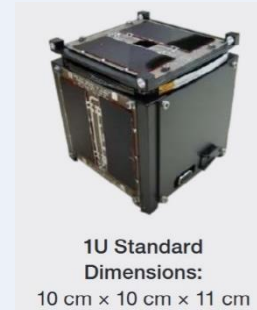
Перший космічний апарат має виконувати:

- цільові завдання;
- дослідницькі завдання з метою вироблення вимог до КА ДЗЗ, системи ДЗЗ, напрацювання методик планування застосування КА ДЗЗ.

ЗАВДАННЯ 1. Створення КА (продовження, вибір типу корисного навантаження)

ВИСНОВОК:

1. Перший космічний апарат має виконувати такі функції:
 - розвідку поверхні Землі в **оптичному діапазоні**.
2. Кількість спектральних каналів – 7: монохромний (просторова розрізненість 1,5 м), червоний, зелений, синій, 2 ближній інфрачервоний, 1 дальній інфрачервоний (просторова розрізненість 3 м).
3. Ширина кадра знімання 15 -25 км.
4. Розмір КА 12U – 16U (юнітів).
5. Вага КА 24 – 32 кг.
6. Орбіта кругова, висота 500 – 550 км.



1U Standard
Dimensions:
10 cm × 10 cm × 11 cm

Стандартний 1U CubeSat має розміри 10x10x11 сантиметрів.

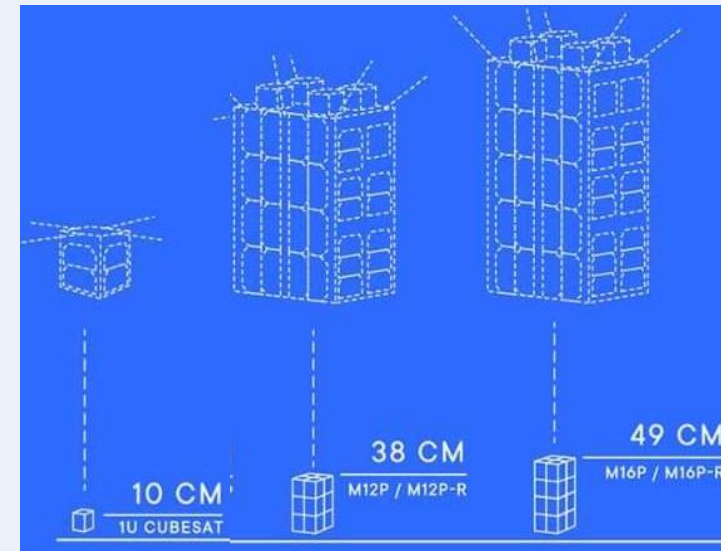
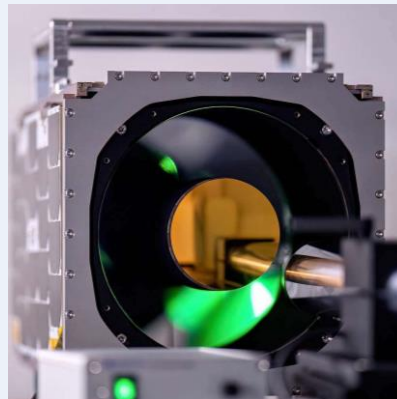
Вартість вироблення малих КА:

Орієнтовна вартість малих КА 20000 – 30000 доларів за юніт (250000 – 350000 доларів за 12U).

Додаткова вартість: цикл випробувань КА, отримання ліцензій, підготовка до запуску.

Точне значення вартості – після узгодження з виробником.

Оптичне корисне навантаження з високою роздільною здатністю на наносупутниковій шині розміром 16U може забезпечити роздільну здатність 1,5 метра GSD з орбіти 500 км.



ЗАВДАННЯ 2. Запуск КА на орбіту

Проблемні питання

Наявність ракети-носія та космодрому

~~Вітчизняний
ракета-носій~~

~~Конверсійний
вітчизняний
ракета-носій~~

Нетипові
носій і місце
запуску

~~Вітчизняний
космодром~~

Іноземний ракета-
носій та космодром

Юридичні питання запуску

Контроль запусків
ракет засобами
космічної ситуаційної
обізнанності

Екологія та безпека
(передбачені райони
падіння прискорювачів,
перших ступеней,
токсичність палива)

Ракета-носій

при виводі КА на
орбіту повинен
забезпечити
виконання умов

Умова 1. Досягнення
космічного простору

Умова 2. Досягнення
визначених орбітальних
параметрів

Умова 3. Досягнення 1-ї
космічної швидкості



ЗАВДАННЯ 2-а. Досягнення космічного простору

Характеристики ракети 9М723 ОТРК «Іскандер-М»

1. Стартова маса ракети: 3800 кг.
2. Маса бойової частини: 480 кг.
3. Маса твердого палива: 2500 кг.
4. Кількість ступеней: 1.
5. Довжина 7,3 м.
6. Діаметр 0,92 м.
7. Максимальна швидкість: 5..7М (1,6..2,3 км/с).
8. Дальність ураження: до 500 км.



Характеристики БРПЛ Р-29РМ (РН «ШТИЛЬ», 1 КА 80 кг на Н=400 км)

1. Стартова маса ракети: 40300 кг.
2. Маса бойової частини: 2800 кг.
3. Кількість ступеней: 3.
4. Довжина 15,3 м.
5. Діаметр 1,9 м.
6. Максимальна швидкість: 6,5..7,0 км/с.
7. Дальність ураження: до 8300 км.

ДОВІДКА

Час існування космічного об'єкта (швидкість I космічна) на висоті 300 км – 40 діб; на висоті 200 км – 2 доби.

Рисунок 8.1 – Варіанти застосування ОТРК «Іскандер»

Характеристики БРСД «Jericho-2» («Иерихон-2») (РН «Shavit», 3 ступені)

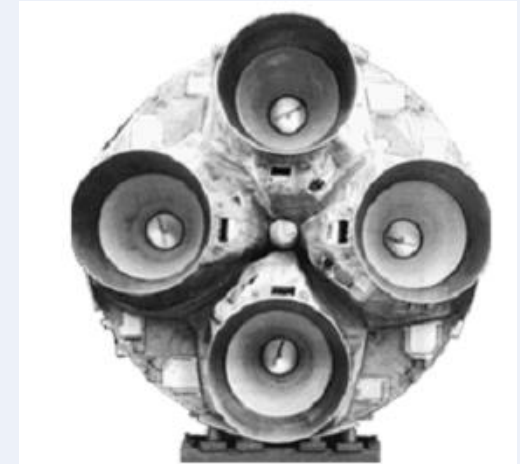
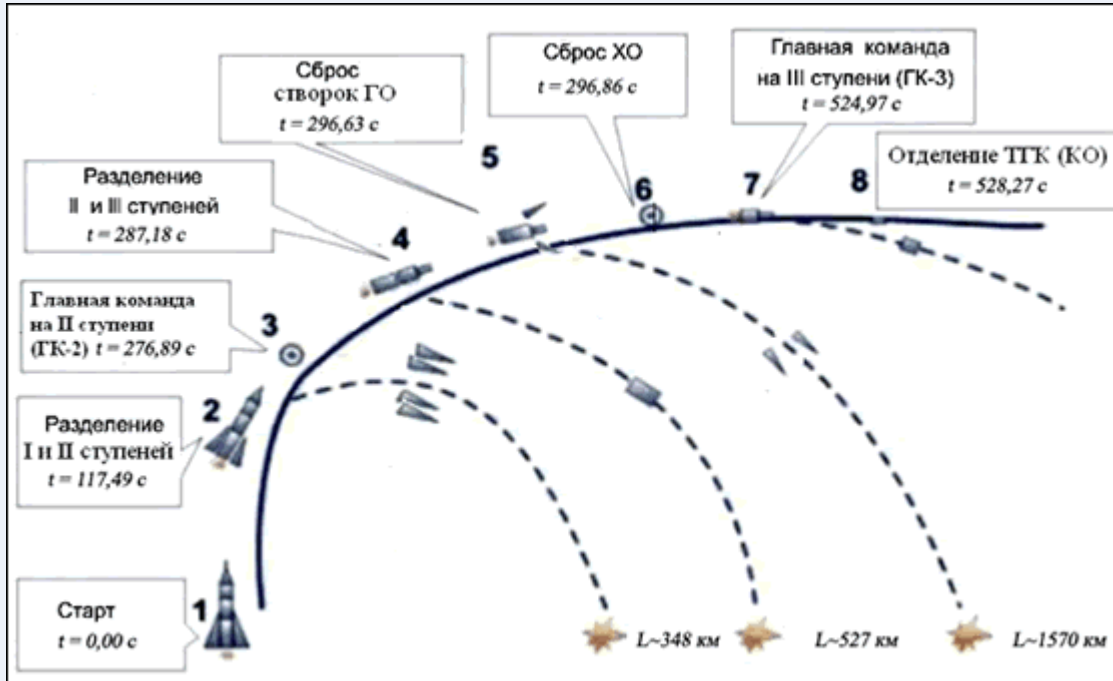
1. Стартова маса ракети: 26000 кг.
2. Маса бойової частини: 1000 кг.
3. Кількість ступеней: 2.
4. Довжина 14 м.
5. Діаметр 1,5 м.
6. Максимальна швидкість: 4,5 км/с.
7. Дальність ураження: до 3500 км.

Характеристики ракети 5В28 ЗРК С-200

1. Стартова маса ракети: 7100 кг.
2. Маса бойової частини: 220 кг.
3. Кількість ступеней: 2.
4. Довжина 10,8 м.
5. Максимальна швидкість: 1,8 км/с.
6. Час роботи двигуна на максимальній тязі – 100 с.
7. Дальність ураження: до 300 км.
8. Висота ураження: до 40 км.

Висновок: космічний простір досяжний.

ЗАВДАННЯ 2-б. Досягнення визначеної орбіти



Циклограма виводу РН "Протон-М"



ЗАВДАННЯ 2-в. Досягнення необхідної швидкості

$$\text{Швидкість РН} = \frac{\text{маса палива} * \text{швидкість витікання газів}}{\text{маса ракети}}$$

$$v_p = \frac{m_z v_z}{m_p}$$

Перша космічна швидкість:

на поверхні Землі – **7,91 км/с**;
 на висоті 250 км – **7,76 км/с**;
 на висоті 250 км з врахуванням втрат від гравітації – **8,36 км/с**.

Розрахунок для ОТРК «Іскандер»:

швидкість витікання газів – **2,2 км/с**;
 швидкість ракети – **2,3 км/с (7М)**.

Розрахунок для нетипового носія:

кількість ступеней – **2**;
Варіант 1
 швидкість витікання газів – **2,0 км/с**;
 швидкість ракети – **4,0 км/с**;
Варіант 3
 швидкість витікання газів – **2,5 км/с**;
 швидкість ракети – **5,0 км/с**;
Варіант 3
 швидкість витікання газів – **3,0 км/с**;
 швидкість ракети – **6,0 км/с**;

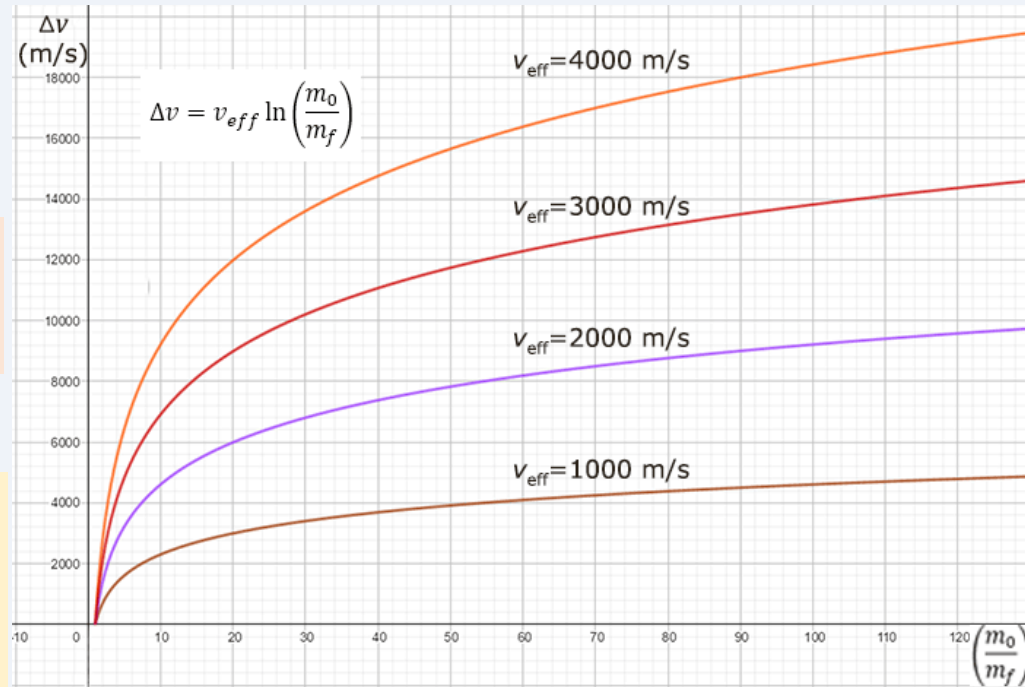


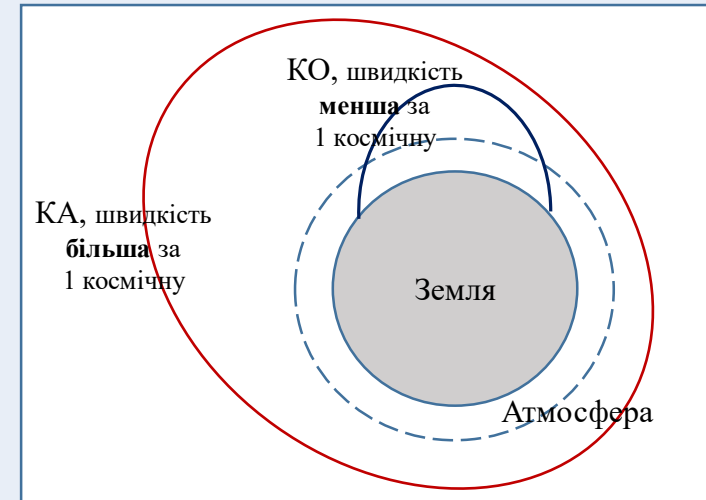
Рисунок 10.1 – Залежність досяжної швидкості ракети від співвідношення маси корисного навантаження і ракети



ЗАВДАННЯ 2. Запуск КА на орбіту

ВИСНОВКИ

2. Запуск КА доцільно здійснювати за допомогою іноземних компаній (наприклад, SpaceX).



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 4. Створення комплексу планування використання КА та приймання даних космічного знімання.

Основний комплекс управління та основний комплекс планування польотів КА створюється і дислокується на території України

ФУНКЦІОНАЛЬНІСТЬ:

1. Отримання даних космічного знімання з вітчизняного угруповання розвідувальних КА використовує такі складові *космічної підтримки дій військ (сил)*:

- космічна ситуаційна обізнаність;
- супутникові операції;
- координатно-часове та навігаційне забезпечення;
- *космічна розвідка*.

2. Відпрацювання методик планування застосування орбітальних засобів, оптимального прийому, оброблення, зберігання, даних знімання.

3. Розроблення концепції побудови СИСТЕМИ космічної розвідки, її удосконалення, вироблення вимог до апаратного і програмно-алгоритмічного комплексів.

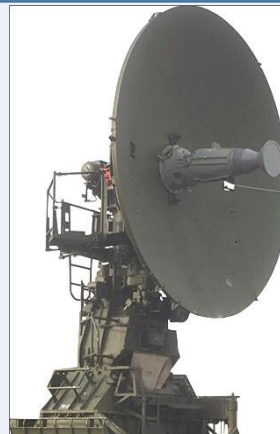
4. Створення імітаційно-моделюючого комплексу головного конструктора.

5. Проведення наукових досліджень.

6. Створення матеріальної і інтелектуальної бази вироблення орбітальних і наземних засобів Системи космічної розвідки.

МАТЕРІАЛЬНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ:

1. Наявність станцій приймання телеметрії та передавання команд управління – НЦУВКЗ ДКАУ; можливість створення – ЖВІ.
2. Наявність станцій приймання даних космічного знімання: ГУР, НЦУВКЗ, ЖВІ (Житомир), ПНУ (Житомир).



КАДРОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ:

1. Підготовка фахівців здійснюється в ЖВІ ім. С.П.Корольова.

2. Наказом МО України від 15.02.2019 року № 65

“Про внесення змін до наказу Міністерства оборони України від 26.01.2017 №53” :

Житомирський військовий інститут ім. С. П. Корольова проводить дослідження стану, перспектив розвитку та шляхів удосконалення космічних і геоінформаційних систем, системи контролю та аналізу космічної обстановки.

ЗАВДАННЯ 3. Створення наземного комплексу управління польотом КА.

ЗАВДАННЯ 4. Створення комплексу планування використання КА та приймання даних космічного знімання.

Запасний (дублюючий)
наземний комплекс управління
КА та приймання даних

ЗАВДАННЯ:

1. Підвищення оперативності отримання даних космічного знімання.
2. Підвищення стійкості системи.
3. Підвищення завадостійкості системи.



SSC (Swedish Space Corporation) надає космічні операції та наземні мережеві послуги.

Супутникова станція **Космічного центру Esrange** включає шість незалежних систем телеметричного стеження і управління (TT&C) в S-діапазоні (одна з можливостей прийому також в UHF-діапазоні), шість багаточастотних приймальних антенних систем в S/X-діапазоні і оперативну будівлю, в якій розміщена електроніка системи прийому і обладнання для обробки даних. Космічний центр Esrange працює в режимі 24/7 і має достатньо місця для розширення антен і обладнання, щоб задовольнити потреби нашої зростаючої клієнтської бази.

Космічний центр Есрейндж розташований над полярним колом на $67^{\circ} 53'$ північної широти, $21^{\circ} 04'$ східної довготи та приблизно в сорока кілометрах від міста **Кіруна, Швеція**. Розташування є особливо вигідним для доступу до супутників на полярній орбіті.

ЕТАПИ створення Системи ДЗЗ з космосу

Першочергово (1 – 1,5 роки)

1. Формування організаційного ядра, призначення керівника проекту і головного конструктора.
2. Визначення типу КА, характеристик бортового обладнання, замовлення виробництва КА.
3. Визначення району дислокації основного і додаткового наземного комплексу управління і комплексу планування, приймання даних, визначення наявних і необхідних матеріальних і кадрових ресурсів.

4. Пошук фінансового забезпечення проекту.
5. Створення наземних комплексів управління, планування застосування КА та приймання даних, співпраця з виробником КА.
6. Створення моделей, розроблення і відлагодження програмного забезпечення функціонування комплексу ДЗЗ з космосу.
7. Запуск КА на орбіту.
8. Початок планової роботи комплексу ДЗЗ з космосу.

Середньотерміново (2,5 – 3 роки)

1. Відпрацювання методик управління і планування застосування КА.
2. Вироблення концептуального обліку **Системи** ДЗЗ з космосу і вимог до орбітальної та наземної складових.
3. Створення імітаційного моделюючого комплексу головного конструктора Системи.

4. **Створення матеріальної бази крупновузлового збирання малих КА.**
5. Розроблення і виробництво КА з іноземних комплектуючих.
6. Проведення наукових дослідження за напрямом ДЗЗ з космосу.
7. Модернізація освітніх програм підготовки фахівців.

Перспективно (5 – 7 років)

1. Створення повноцінної Системи ДЗЗ з космосу.
2. Підтримання, супроводження та розвиток Системи ДЗЗ з космосу.