

НАЦІОНАЛЬНЕ КОСМІЧНЕ АГЕНТСТВО УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ОБОРОНИ УКРАЇНИ

НЕГОДА О.О., ТОЛУБКО В.Б., МОСОВ С.П.

# ЗАРУБІЖНІ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ З КОСМОСУ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

ІСТОРІЯ СТВОРЕННЯ, ПРИНЦИПИ ДІЇ,  
ЗАСТОСУВАННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

КИЇВ – 2005

- 3–35 **Зарубіжні системи дистанційного зондування Землі з космосу подвійного призначення.** Історія створення, принципи дії, застосування і перспективи розвитку / О.О.Негода, В.Б.Толубко, С.П.Мосов. – К.: НАОУ, 2005. – 246 с.

У даній монографії здійснено аналіз стану та застосування космічних систем дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) подвійного призначення у світі з метою окреслення перспективних напрямків розвитку космічної галузі України. Визначено завдання та об'єкти спостереження системами ДЗЗ, проаналізовані геофізичні характеристики повітряно-космічного простору та його вплив на функціонування космічних засобів, розглянуто основні принципи формування зображень видовими засобами космічного спостереження. Досліджено історію розвитку космічних систем, здійснено детальний аналіз застосування розвідувальних космічних апаратів (КА) під час локальних війн та конфліктів, вивчено можливі напрямки комерційного використання систем ДЗЗ. Узагальнено інформацію про можливості держав світу щодо розробки, виробництва та використання систем ДЗЗ, зроблено висновки щодо подальшого розвитку національних космічних систем.

Для фахівців ракетно-космічної галузі та широкого кола читачів, які цікавляться сучасними тенденціями у галузі високих технологій.

Рецензенти: доктор технічних наук, професор, Заслужений винахідник України Ю.К.Ребрін

доктор технічних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України М.С.Сівов

доктор військових наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України В.О.Косевцов

ISBN 966-8546-09-1

ББК 39.62, 39.66, 39.68

## ВСТУП

Історія розвитку людства на Землі свідчить про освоєння ним все нових сфер діяльності – спочатку земна та водна поверхня, потім підводний та повітряний простір і, нарешті, космічний простір. Космос [гр. kosmos – Всесвіт] – світ в цілому, нескінчений у часі та просторі і безмежно різноманітний за формами, що приймає матерія у процесі свого розвитку [1]. На практиці під космічним простором розуміють не Всесвіт в цілому, а простір, що знаходиться за межами земної атмосфери. У космічному просторі виділяють окремі області, що характеризуються різними властивостями: навколоземний космічний простір, міжпланетний простір, міжзірковий простір та ін. Поряд з цими термінами використовують поняття ближній космос, що досліджується за допомогою космічних апаратів (КА), та далекий космос – світ зірок і галактик.

Практичне комерційне та військове використання навколоземного космосу почалося в середині ХХ-го століття з першими запусками штучних супутників Землі. Міжпланетний та далекий космос використовується, в основному, тільки в наукових цілях, хоча в останні роки виказуються амбітні заяви деяких політичних діячів з претензіями на практичне використання Місяця та планет Сонячної системи.

На даний час космос використовується для [1-3]: розташування космічних апаратів супутникового зв'язку; створення глобальних радіонавігаційних систем; розгортання космічних метеорологічних систем; космічної геодезії; вивчення природних ресурсів Землі із космосу; інформаційного забезпечення землекористування, екології та надзвичайних ситуацій; космічної розвідки в інтересах воєнної безпеки; системи контролю виконання міжнародних договорів.

Останні воєнні конфлікти, що відбулися у зоні Перської затоки, на території колишньої Югославії та Афганістані пройшли на межі двох епох.

Вони підвели рису під воєнним минулим та визначили собою перехід до війн нової – космічної епохи. Застосування принципово нових засобів боротьби відкрило, на думку провідних воєнних фахівців світу, новий напрям в історії війн – епоху війн високих технологій та "інтелектуальної" зброї. Досвід цих останніх воєнних конфліктів свідчить про суттєве посилення ролі космічних засобів розвідки, які в реальному масштабі часу (близькому до реального) найбільш точно визначають координати об'єктів і дозволяють виконувати оглядову та детальну розвідку. Таким чином в останній час дуже суттєво змінилися погляди воєнних фахівців провідних країн світу на форми та способи підготовки і ведення війни, що в значній мірі обумовлено подальшим розвитком космічних засобів спостереження.

Одним з найважливіших та пріоритетних завдань державного будівництва незалежної України є забезпечення її обороноздатності шляхом удосконалення своїх Збройних Сил та оснащення їх сучасними системами озброєння.

Цілі та завдання військово-технічної політики держави визначаються воєнною доктриною. Вони повинні відповідати зобов'язанням України щодо дотримання міжнародних зобов'язань та домовленостей в системі обмеження визначених видів озброєнь.

Визначення пріоритетів військово-технічної політики держави послідовно проводиться на основі комплексного аналізу воєнно-політичних та економічних факторів, світового досвіду створення і бойового застосування різноманітних видів озброєнь. При цьому провідні світові виробники зброї основну увагу приділяють забезпеченню технічної переваги в стратегічних видах озброєнь, космічних системах (розвідувально-інформаційного, координатно-часового забезпечення, зв'язку, навігаційних даних), що в значній мірі дозволяє компенсувати кількісну перевагу противника у особовому складі та звичайних видах озброєння.

Космічні засоби розвідки дозволяють отримувати достовірну інформацію про об'єкти, їх характеристики і діяльність противника до початку і в ході

війни. Так наприклад, за допомогою засобів видової космічної розвідки США вдалося виявити перебазування Іракських військ до південного кордону ще за 4 доби до вторгнення в Кувейт, що, за заявою офіційного Вашингтону, дозволило ЦРУ спрогнозувати можливість агресії. З тієї ж заяви стало відомо, що супутникові знімки стали одним з вирішальних аргументів на прийняття рішення королем Саудівської Аравії щодо розміщення багатонаціональних сил в країні. Крім того, космічні засоби спроможні забезпечити здійснення наведення як стратегічних видів озброєння так і систем зброї оперативної, оперативно-тактичної і тактичної ланок. Саме вони є базовими для розвитку інформаційного середовища високоточної зброї і ініціюють забезпечення оснащення Збройних Сил сучасними видами принципово нових складних систем озброєння. Широке застосування космічних засобів для забезпечення бойової діяльності Збройних Сил зумовлено їх високими бойовими властивостями, під якими розуміють кількісні та якісні показники, що характеризують можливості щодо вирішення завдань в інтересах Збройних Сил.

До основних бойових властивостей космічних засобів відносяться: глобальність дії та спостереження; довгостроковість функціонування космічних апаратів в космічному просторі; висока оперативність і періодичність вирішення завдань, у тому числі і у реальному масштабі часу; можливість отримання великого обсягу інформації про бойовий та воєнно-економічний потенціал противника; безперешкодний проліт над будь-якою територією Землі.

Для вирішення найважливіших завдань забезпечення бойової діяльності Збройних Сил України, як в мирний так і в воєнний час в загальну систему космічного озброєння повинні бути включені системи і комплекси розвідки, що включають в себе засоби видової оглядової і детальної розвідки (у т.ч. і у інфрачервоному діапазоні); оглядової і детальної всепогодної радіолокаційної розвідки і безперервного радіоелектронного спостереження; територіально

розподілений сучасний захищений наземний інформаційний комплекс (з мобільним варіантом) прийому, обробки, аналізу і доведення розвідінформації до відповідної ланки управління, а також сучасний наземний комплекс автоматизованого управління космічними засобами.

В умовах воєнного часу наявність достовірної розвідінформації, яку отримують з використанням цих систем про склад, положення, стан, характеристики та функціонування об'єктів противника, дає можливість постійно оцінювати елементи воєнно-політичної, воєнно-економічної та воєнно-стратегічної обстановки. Інформація про склад, положення і стан збройних сил противника, характер дій його угруповань, а також про оперативне обладнання та інфраструктуру визначених територій дає змогу цілеспрямовано розвивати та удосконалювати свою зброю, а також, в залежності від цього, і форми та способи застосування своїх військ (сил), здійснювати постійний раціональний цілерозподіл при плануванні та проведенні операцій, проводити своєчасне корегування планів як при підготовці, так і на етапах ведення операцій, найбільш ефективно та доцільно застосовувати сили та засоби збройної боротьби.

На теперішній час найбільших успіхів в освоєнні космосу та космічній діяльності досягли США, Росія, Франція, Ізраїль, Китай та деякі інші держави. Космічна діяльність, – наукові космічні дослідження, створення та застосування космічної техніки, використання космічного простору, – здійснюється розвинутими високотехнологічними державами світу. Україна також входить до складу країн, що мають певний досвід та значний потенціал космічної діяльності.

Згідно із Законом метою космічної діяльності України є [4]: сприяння соціально-економічному та науковому прогресу держави, зростанню добробуту громадян; участь у розв'язанні загальних проблем людства; розвиток космічної науки і техніки, космічних послуг та технологій, які обумовлюють стабільний розвиток національної економіки; створення потужного експортного

потенціалу космічної галузі; забезпечення доступу в космос, здійснення наукових досліджень Землі та космічного простору; створення та підтримка космічними засобами сучасного інформаційного простору держави; забезпечення довгострокових інтересів держави у сфері національної безпеки та обороноздатності; сприяння вдосконаленню освіти; участь у контролі за виконанням угод, учасницею яких є Україна, що стосуються міжнародної безпеки.

Для інформаційного забезпечення вирішення наукових, екологічних, народногосподарських проблем і проблем національної безпеки та оборони необхідна геопросторова інформація, яка може бути отримана засобами космічного спостереження [4-6]. Космічне спостереження є ефективним видом інформаційного забезпечення структур, що відповідають за воєнну, екологічну та інші сфери національної безпеки. Суттєві переваги космічного спостереження над іншими видами технічного контролю у глобальності, екстериторіальності, довгостроковості, оперативності, безперервності та комплексності визначають його провідне місце у інформаційному забезпеченні національної безпеки [6].

Основними способами космічного спостереження є оптико-електронне і радіолокаційне. Людина сприймає до 90% зовнішньої інформації за допомогою органів зору. Тому зображення, як форму найбільш повного подання інформації, неможливо нічим замінити не тільки в повсякденному житті, а й при дослідженні просторово-спектральних характеристик об'єктів чи їх сукупності. Ці обставини є важливим аргументом на користь створення зображень засобами космічного, повітряного, надводного і наземного базування та їх широкого використання.

Для добування видової інформації із космосу в інтересах національної безпеки використовуються як комерційні апарати, що здійснюють дистанційне зондування Землі (ДЗЗ), так і розвідувальні космічні апарати. Дистанційне зондування Землі (з космосу) – отримання даних про Землю з космосу,

використовуючи властивості електромагнітних хвиль, випромінюваних, відбиваних, поглинаючих чи розсіюваних об'єктами зондування [7]. Космічні апарати ДЗЗ, що використовуються як для військових, так і для комерційних (цивільних) потреб, називаються апаратами подвійного призначення.

Для закріплення своїх позицій на світовому ринку видової космічної інформації та через потребу значних фінансових вкладень виникають міжнародні альянси фірм: Ізраїль–США, Франція–США, Франції–Італії–Іспанія та інші. Європейські держави, намагаючись досягти незалежності від США та Росії в питаннях використання космічних технологій, утворили Європейське космічне агентство (ЄКА).

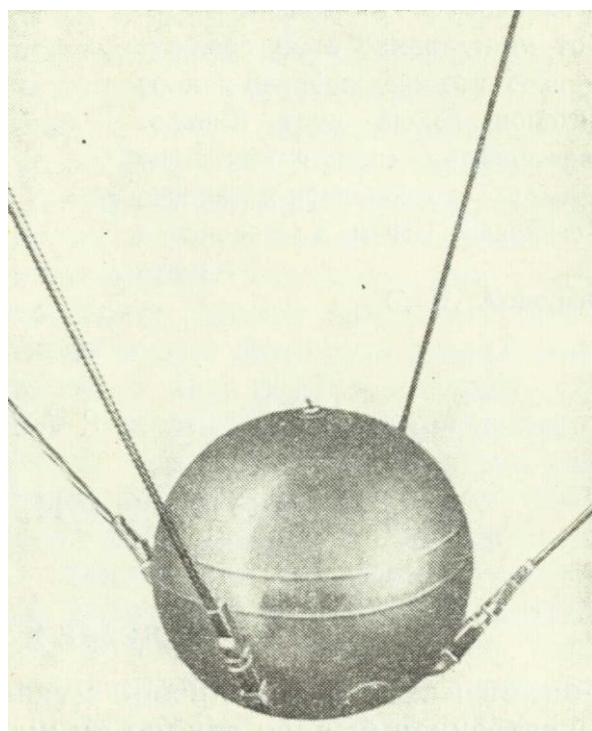
Інформація ДЗЗ використовується в картографії, геологорозвідці, сільському господарстві та при вивченні Світового океану, при контролі екології, техногенних і природних надзвичайних ситуацій, при контролі за озброєнням і виконанням міжнародних угод та у розвідці. Добування інформації методами космічного спостереження забезпечує глобальність, комплексність й оперативність контролю території у будь-якому районі Землі та навколоземного простору без порушення державних кордонів [8-11].

За динамікою розвитку дистанційне зондування Землі посідає друге місце серед космічних інформаційних технологій після телекомунікаційного сектора. Україна має певні успіхи та науково-технічний потенціал у космічній галузі і зацікавлена у їх розвитку. Це потребує аналізу та узагальнення світових досягнень у розробці, виробництві і цільовому застосуванні космічної техніки та перспектив і напрямів її розвитку. Розгляду цих питань і присвячена дана монографія.

# 1. ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ З КОСМОСУ

## 1.1. Становлення досліджень Землі з космосу

На кінець XIX ст., коли повітроплавання досягло свого розквіту і починали вже здійснюватися спроби відірвати від земної поверхні апарати, важчі від повітря, людство серйозно замислилося про політ у космічний простір. Спочатку це були теоретичні передумови, перші розрахунки, але такі, що вже виходили за грані чистої фантазії. Людському науковому знанню, пов'язаному з космічними польотами, передувала велика кількість фантазій і казок, чому була присвячена у свій час енциклопедія Риніна [104].



Перший ШСЗ

У 1881 році російський революціонер-народоволець М. І. Кибальчич, ув'язнений у Петропавловській фортеці за замах на життя царя Олександра II і засуджений до страти, розробляє “Проект повітроплавального пристрою”, призначеного для польоту людини, який використовував пороховий ракетний двигун.

Останні два десятиріччя XIX в. позначилися першими роботами К. Е. Ціолковського – основоположника теоретичної космонавтики. Спочатку це були твори якісного і філософського характеру, але вже у 1903 році була

надрукована класична праця К. Е. Ціолковського “Дослідження світових просторів реактивними приладами” [109,110], що поклала початок його подальшим науковим дослідженням у галузі ракетодинаміки і космонавтики. Цей науковий напрямок пов’язаний з багатьма прізвищами російських та іноземних дослідників першої третини ХХ ст. [108–110]. Слід відмітити, що поряд з роботами в галузі суто ракетних досліджень більшість видатних вчених починали розглядати питання, пов’язані з практичним застосуванням польотів у космос. Насамперед це роботи самого К.Е.Ціолковського, який вважав, що головною користю від освоєння космосу буде безобмежене збільшення сонячної енергії, спрямованої на забезпечення життя як на Землі, так і в межах Сонячної системи, куди, у першу чергу, буде розповсюджуватися земна цивілізація.

Проект використання на Землі сонячної енергії за допомогою відбивних дзеркал, що винесені у космос, розглядувався у роботі відомого українського фахівця Ю. В. Кондратюка – одного з піонерів радянської ракетної техніки. Перший варіант рукопису, що містив цей проект, належить до 1917 року [104]. У 1929 році Кондратюк опублікував відому в теперішній час у всьому світі книгу "Про завойовування міжпланетних просторів" [111]. У ній Ю.В.Кондратюк розглянув всі етапи міжпланетного польоту, перевів їх на мову математики і розібрав, що трапляється з кораблем і його екіпажем у процесі польоту.

Питаннями освітленості земної поверхні відбитим штучно через космос сонячним промінням займався німецький вчений Г. Оберт. Пізніше більш дрібні розрахунки, необхідні для вирішення поставленого завдання, були виконані Е. Крафтом.

Французький вчений Р.Есно-Пельтрі у листі своєму американському колезі Р.Годдарду у 1920 році писав: "Я вказував на великий інтерес посилення снаряду не на Місяць, а навколо Місяця. Ми бачимо лише один бік і ніхто, поки

існують люди на Землі, не бачив другого його боку" [110]. Як відомо, це завдання вперше було виконане радянською ракетою в жовтні 1959 року.

Можливість запуску першого у світі штучного супутника Землі (ШСЗ) була обумовлена кількома обставинами. По-перше, ця можливість залежала від загального людського знання основних фізичних законів всесвіту. У 50-х роках ХХ століття рівень наукових знань (як в теоретичному, так і практичному плані) був вже достатній для технічного здійснення польотів у космос. Другою причиною була необхідність мати достатньо високий промисловий, науково-технічний і економічний потенціал. Космічні дослідження, пов'язані із запуском космічних апаратів, поглинають декілька відсотків національного доходу таких розвинутих країн, як, наприклад, США, вимагають участі великої кількості спеціалістів в галузі реактивної техніки, автоматики, електроніки і т.п. По-третє, була необхідність у проведенні великого обсягу організаційної роботи по створенню відповідної технічної бази, об'єднанню і координації зусиль різних галузей і установ, залученню багатьох вчених і т.д.

Усі перераховані обставини були у внутрішньому житті СРСР, у результаті чого 4 жовтня 1957 року був запусканий перший у світі ШСЗ. Інші достатньо розвинуті країни змогли це зробити тільки у наступні роки: у 1958 році – США, у 1965 – Франція, у 1970 – Японія і Китай. Жовтень 1957 року назавжди увійшов в історію земної цивілізації як час здійснення вікової мрії людства про польоти в космічний простір.

12 квітня 1961 року в СРСР був даний старт космічному кораблю "Восток", який пілотувався льотчиком-космонавтом Ю.О.Гагаріним. Зробивши один оберт навколо Землі, корабель успішно здійснив посадку в заданому районі. Це був перший крок людства до незвіданого. Він відіграв історичну роль у розвитку космонавтики, його блискуче завершення відкрило людству широкий шлях до безмежних просторів Всесвіту. За першим космонавтом у космос відправилися і представники інших країн. Сьогодні нараховується значна кількість країн, громадяни яких брали участь у космічних польотах.

Космічні зйомки почалися 7 жовтня 1959 року, коли був сфотографований зворотній бік Місяця радянською міжпланетною станцією. Цю дату і слід вважати відправною в історії розвитку космічних зйомок. Радянський льотчик-космонавт Г.С.Титов 6 серпня 1961 року здійснив перше фотографування Землі з пілотованого корабля “Восток-2”. Ці дати говорять про інтенсивний розвиток прикладних напрямків, пов’язаних з освоєнням космічного простору, серед яких одне з ведучих місць займає космічна зйомка. Якщо між першим підйомом людини у повітря і практичним використанням літальних апаратів для вивчення земної поверхні пройшло декілька десятиріч, потрібно було приблизно 3–4 роки після першого польоту літака для вирішення тих же завдань, то автоматичні космічні зйомки почалися рівно через два роки після запуску першого ШСЗ, а перша космічна фотографія Землі від першого польоту людини у космос відділена декількома місяцями.

Дві дати – 7 жовтня 1959 року і 6 серпня 1961 року – визначили два напрями космічних зйомок – за допомогою автоматичних ШСЗ і за допомогою пілотованих космічних кораблів. Кожній з них має свої особливості і продовжує успішно розвиватися як в інтересах вирішення завдань дистанційного зондування Землі цивільної сфери, так і в інтересах оборони і безпеки країн.

При цьому слід відмітити, розвідка з космосу стала можливою в результаті бурного розвитку не тільки ракетної і космічної техніки, але й оптико-електроніки і радіоелектроніки. Космічна розвідка отримала істотні переваги перед іншими видами розвідки, у тому числі і перед авіаційною: відсутність державного кордону для ведення розвідки; наявність



КА "Метеор"

сприятливих умов для ведення розвідки за допомогою технічних засобів з різними фізичними принципами дій (розвідка за допомогою видових і параметричних засобів); малоуразливість ШСЗ. Це зробило можливим ведення глобальної розвідки за всіма наземними і морськими театрами військових дій і отримання цінної інформації про цивільні і наземні об'єкти стратегічного й оперативного-тактичного призначення тих країн, що викликали безпосередній інтерес.

Першими країнами, які стали активно використовувати космічний простір для ведення розвідки, стали США і СРСР. До першого покоління супутників США належать "Samos", "KH-3", на зміну яким потім прийшли "KH-4 Corona", "KH-5 Argon", "KH-6 Lanyard", "KH-7 Gambit", "KH-8", "KH-9 Big Bird", "Ferret" та інші; першими розвідувальними супутниками СРСР були "Зенит", "Комета", "Янтарь" та інші [112–114].

Вже у серпні 1960 року США отримали перші знімки території СРСР із космосу, що були необхідні американським фахівцям для проведення оцінки робіт по радянській ракетній програмі у зв'язку з вимушеним призупиненням у травні 1960 року польотів висотних літаків-розвідників U-2 [113].

У 70-х роках до США і СРСР приєдналась ще одна країна, якою став Китай, що освоїв технологію створення та експлуатації низькоорбітальних супутників з апаратами, які поверталися на Землю. Перший експериментальний ШСЗ видової (фотографічної) розвідки в Китаї був випробуваний у 1975 – 1978 роках [115].

Космічні розвідувальні програми країн Західної Європи розпочалися запуском Францією супутника Spot у 1986 році [104,116]. В їх здійсненні беруть активну участь Великобританія, Німеччина, Італія та Іспанія [116,117]. На кінець ХХ століття в космічних програмах самостійно або в кооперації стали приймати участь вже близько 20 країн світу, у тому числі Ізраїль, Індія, Японія, Бразилія і Канада [118].

Україна, як провідна космічна держава світу, почала свою особисту новітню історію з 1990 р. членством у Комітеті ООН з мирного використання космосу. 29 лютого 1992 року після створення Національного космічного агентства України розпочалася розробка першої Державної космічної програми. Нині діє третя Національна (Загальнодержавна) космічна програма України 2003-2007 рр. [15].

31 серпня 1995 року Україна запустила перший власний супутник "Січ-1", котрий призначався для дистанційного зондування Землі: спостережень динаміки процесів в атмосфері, на океанічній поверхні, на суші і під кригою. Головною метою запуску супутника була необхідність налаштувати власну інфраструктуру. Саме запуск КА "Січ-1" за допомогою вітчизняної ракети "Циклон" та створення національної інфраструктури знаменували повернення України до плеяди космічних держав світу.



КА "Січ-1"

17 липня 1999 року Україна зробила наступний крок у напрямку вирішення завдань дистанційного зондування Землі із космосу запуском спільно з Росією супутника "Океан-О".



КА "Океан-О"

Наступні кроки України в галузі досліджень Землі з космосу пов'язані з відпрацюванням перспективних технологій спостереження земної поверхні та технічних засобів, зокрема створення КА "Січ-1М" для отримання

інформації в оптичному, інфрачервоному та НВЧ-діапазонах, а також апарата подвійного використання "Січ-2" для отримання цифрових знімків з високим розрізненістю на місцевості в оптичному діапазоні.

За роки незалежності Україна була учасницею міжнародних космічних проектів [16]:

- дослідження навколоземної плазми та випромінювання Сонця (проект "Коронас-1");
- дослідження випромінювань космічних об'єктів ("Спектр");
- запуск космічних апаратів з морської платформи ("Морський старт").

У процесі подальшого розвитку системи дистанційного зондування Землі України слід очікувати удосконалення наземної інфраструктури та отримання даних з іноземних космічних апаратів високої розрізненності, а також інтеграцію в міжнародні проекти і системи спостереження Землі.

Лідерами у галузі розробки та експлуатації систем ДЗЗ є США та Росія.

## **1.2. Космічні системи ДЗЗ Сполучених Штатів Америки**

Зародження повітряно-космічної доктрини США можна віднести до часу задовго до створення штучних супутників Землі і навіть до запуску першої МБР.

Вже в березні 1946 року "Rand Corporation", дослідницька організація, створена ВПС США, підготувала "Попередній проект експериментального космічного корабля для польотів навколо Землі", в якому стверджувалося, що: "Держава, яка першою доб'ється важливих успіхів у космосі, буде визнаною світовим лідером у воєнній та науковій сферах".

В наступному десятилітті (50-ті роки) в США дуже широко проводились концептуальні дослідження шляхів використання космічного простору у

воєнних цілях, пророблялись проекти щодо створення супутникових систем забезпечення бойових дій, визначення можливостей створення пілотованих та безпілотних систем космічного озброєння для застосування проти космічних об'єктів та проти об'єктів на поверхні Землі.

У доповідях Міністерства оборони США того часу політичному керівництву держави стверджувалось: "Дослідження, які мають відношення до програми штучних супутників, ведуться енергійно та прогресують темпами, які відповідають досягнутому рівню технічного розвитку".

В 1958 році президент США Д.Ейзенхауер схвалив програму створення системи космічної розвідки WS-117L. Замовниками й операторами засобів видової розвідки виступають два конкуруючі відомства: Центральне розвідувальне управління (фотографічна розвідка з капсулами, що повертаються) та військово-повітряні сили (передача зображень по радіоканалу). Це є фактично перший правовий документ, що передбачав використання космічного спостереження. Вже в 1960 році утворено Національне управління космічної розвідки США (NRO), до складу якого увійшли представники ВПС, ЦРУ та ВМС, для координації робіт зі створення й експлуатації систем видової розвідки, що одержали позначення KeyHole ("замкова щілина", скорочено КН) [3, 10].

В 1960-1984 роках в США здійснювалась активна експлуатація систем фотографічної видової розвідки типу "KeyHole-4,...-9" (КН-4,...КН-9). Розрізненна здатність апаратури була доведена з 2...3 м до 0,3...0,2 м, а тривалість орбітального польоту збільшена з 40...50 до 275 діб.

З початку 60-х років починається практичне використання космічного простору. В серпні 1960 р. з експериментального ШСЗ "Discovery" були отримані перші фотознімки території СРСР з космосу. Системи оперативної фоторозвідки "Samos", LASP, KeyHole удосконалювались та застосовувались аж до середини 80-х років.

Одночасно розроблювались апаратура видової та детальної розвідки, яка дозволяла оперативно передавати по радіоканалу зображення необхідної ланки місцевості.

Для координації зусиль різних відомств у сфері космічної розвідки у 1960 році створюється Національне управління по розвідці, а у 1961 році був сформований Національний центр дешифрування фотозображень, розташований біля Вашингтону.

Однак низька оперативність доведення до споживачів отриманої фотоінформації в цей же час обумовила розробку оптико-електронних засобів спостереження. Вже у 1966-68 роках оптико-електронні засоби супутника "Samos" дозволили отримати зображення з розрізненною здатністю до 2 м.

З 1976 року в США почалась експлуатація КА оптико-електронної розвідки (ОЕР) типу КН-11 з передачею даних по радіоканалу (супутники типу КН-11 поклали початок сімейству сучасних КА ОЕР).

**Система оптико-електронної розвідки "KeyHole-11"** призначена для щодобового одержання зображень (знімків) незакритих хмарністю об'єктів і районів на освітленій стороні Землі в масштабі часу, близькому до реального. Система дозволяє вирішувати такі завдання: проводити оперативну розвідку заданих об'єктів; стежити за станом і діяльністю найбільш важливих об'єктів і за випробуваннями нового озброєння; проводити розвідку заданих районів; контролювати виконання договорів і угод про обмеження стратегічних озброєнь; здійснювати розвідку будівництва та функціонування важливих воєнних і промислових об'єктів, районів навчань; уточнення даних про обстановку в районах з кризовою ситуацією.

Система оптико-електронної розвідки, розгорнута в повному складі в 1976-80 роках, до середини 80-х років була задіяна разом із системами фоторозвідки. У 1984 році, після модернізації КА ОЕР КН-11, американські спеціалісти відмовились від подальшої експлуатації КА фоторозвідки.

Супутники типу "KeyHole" оснащені оптико-електронною (телевізійною) апаратурою, що забезпечує ведення оглядової розвідки (режим безперервної зйомки) або детальної розвідки (режим покадрової зйомки). Розвідобладнання дозволяє вести зйомку об'єктів у будь-якій частині смуги огляду, обмеженої мінімальним кутом місця  $20^\circ$  відносно КА, при висоті Сонця більш  $5^\circ$ .

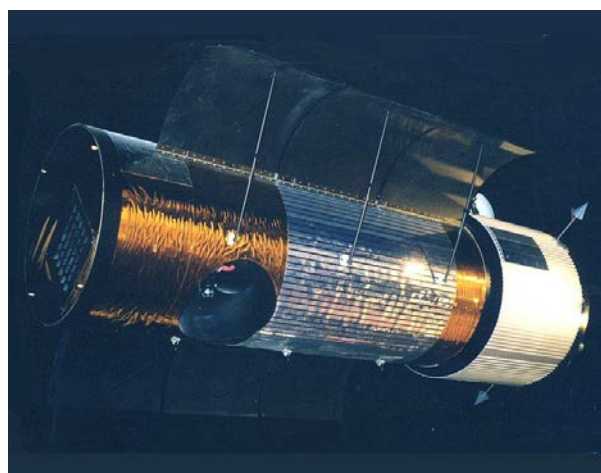
Супутники здійснюють зйомку шляхом наведення й утримання в поле зору апаратури об'єкта, що спостерігається, (району) протягом деякого часу і наступного перенацілювання на інший об'єкт розвідки. У режимі безперервної зйомки КА "KeyHole" можуть вести маршрутну або зйомку окремих площ. Сумарний час роботи в цьому режимі складає до 15 хвилин на одному витку і до 60 хвилин у добу. Тривалість одного сеансу зйомки не перевищує 2-х хвилин. При маршрутній зйомці за один сеанс може бути знята смуга земної поверхні довжиною близько 200 км. При зйомці окремих площ території здійснюється перегляд району розміром  $120 \times 90$  км (при зйомці в надир і висоті КА 390 км). За добу один КА може відзняти до 30, а за один виток – до 7 таких районів. Послідовна зйомка двох зазначених смуг або районів можлива при відстані між ними уздовж траси польоту КА не менш 1300 км (див. карту 2). У режимі покадрової зйомки здійснюється перегляд окремих районів (кадрів місцевості) розмірами від  $2,8 \times 2,8$  до  $15,5 \times 43,5$  км, у залежності від видалення траси польоту КА. Один КА може зробити зйомку до 400 районів за добу і до 80 районів за один виток за умови, що середня відстань між районами складає близько 60 км. При розвідці групової цілі з високою концентрацією об'єктів одним КА у зоні діаметром менш 90 км може бути зняте до 20 об'єктів. Послідовна зйомка в двох таких зонах можлива при відстані між ними не менш 1300 км. За допомогою КА "KeyHole" можлива також зйомка низькоорбітальних космічних апаратів з метою визначення їх призначення і деяких технічних характеристик. Зйомка КА можлива на тлі космосу або тіньової частини Землі при сприятливих умовах освітленості. Ці умови освітленості виконуються, коли кут, укладений між напрямком поширення

сонячного випромінювання (Сонце – КА) і напрямком зйомки (КА "KeyHole" – КА), складає не більш  $75^\circ$ . З урахуванням цих умов, а також динаміки відносного руху КА і КА "KeyHole", можуть бути отримані знімки з розрізненістю 0,015 – 0,3 м на відстанях 10 – 500 км.

Передача розвіданих зі КА "KeyHole" здійснюється по радіоканалу в Центр керування, прийому й обробки інформації (Форт-Белвор, поблизу м. Вашингтона) через КА - ретранслятори "SDS" або через наземні пункти КІК АФСЦФ і відповідні лінії зв'язку за умови перебування КА у зоні радіовидимості пункту. Прийняті сигнали обробляються і відтворюються у виді зображень на фотоплівці з максимальною розрізненістю 0,3 – 0,6 м, по яких можна виявляти наявність об'єктів розвідки, визначати їхні розміри, форму і координати. Час обробки складає біля 2-х годин. Цілковито відпрацьовані фотодокументи доводяться до споживачів через 24 години. Експрес-інформація (дані попереднього аналізу) представляються через 2 – 3 години після надходження розвіданих.

КА "KeyHole" мають наступні обмеження, що знижують ефективність їхнього застосування: оптико-електронна апаратура забезпечує зйомку тільки в денний час при відсутності хмарності, тумана, димки і при висоті Сонця не менш  $5^\circ$ ; обмежене число об'єктів (районів), що можуть бути зняті на кожному витку за рахунок малого сумарного часу роботи апаратури і за рахунок інерційності перенацілювання КА.

Разом з розвитком засобів спостереження у видимого діапазону активно розвивались і засоби радіолокаційної та радіотехнічної розвідки.



КА КН-12 (США)

**Система низькоорбітальної радіотехнічної розвідки "FERRET-D"** (початок експлуатації – 1963 рік). Призначення: Визначення місцезнаходження, головних ТТХ та режимів роботи радіоелектронних засобів.

Запуск першого американського супутника для радіотехнічної розвідки, було здійснено в 1962 році. Радіотехнічна розвідка здійснювалась КА "FERRET-P" (оглядова розвідка) та "FERRET-D" (детальна розвідка). З 1988 року КА "FERRET-D" замінюються апаратами нового покоління, які запускаються із Західного ракетного полігону за допомогою ракетноносія "Titan".

У системі космічної радіотехнічної розвідки постійно використовуються 3-4 працездатних КА, площини орбіт яких розвернуті одна відносно одної на кут 90 град. Це дозволяє скоротити часові інтервали між прольотами КА над одним і тим ж районом з 5 до 2 годин.

Весь розвідувальний діапазон частот розбито на 7 піддіапазонів. Пеленгатори одного КА можуть приймати радіовипромінювання РЕЗ в 3-4 піддіапазонах, а пеленгатори, розташовані на 2-3 КА – в усьому діапазоні частот.

Розвідувальна інформація з борту КА передається на регіональні приймальні комплекси, які розвернуті на ТВД, і після обробки по лініям циркулярного сповіщення в УКХ діапазоні через КА зв'язку "Флітсатком" доводиться до користувачів тактичного рівня, включаючи командні пункти крил та ескадрилій ВПС. Увесь процес від прийому розвідувальної інформації з КА до доведення у зручному вигляді до користувачів займає до 10 хвилин.

У ході подальших робіт щодо підвищення оперативності доведення супутникових даних радіотехнічної



КА Ikonos-2 (США)

розвідки до користувачів планується установити апаратуру прийому та відображення оброблених розвідувальних даних безпосередньо у кабіни бойових літаків.

Досягнутий рівень створення космічних та протикосмічних засобів перевів розробку космічної доктрини в практичну область. У основному порадику ВПС США редакції 1979 р. з'являються завдання дій у космосі, які складають: забезпечення функціонування космічних систем; інформаційне забезпечення із космосу наземних, морських та повітряних угруповань військ; протикосмічна оборона, яка містила в собі зупинку дій противника у космосі, із космосу та через космос.

З 1988 року почалась експлуатація КА радіолокаційної розвідки типу "Lacrosse" для забезпечення всепогодної цілодобової видової зйомки цілей з формуванням зображення. Модифікації КА "Lacrosse" експлуатуються в даний час.

**Система радіолокаційної розвідки "Lacrosse".** Призначення: всепогодне та цілодобове спостереження за дислокацією, переміщенням військ і військової техніки противника (ракети мобільного базування, бронетанкова техніка, кораблі, літаки та інші мобільні засоби).

В системі використовується 2–4 КА "Lacrosse" на кругових орбітах з нахилом 68 градусів і висотою 700–800 км. Супутники розташовуються в двох площинах по одному або по два КА (у майбутньому) в кожній. Час активного функціонування супутника складає 5–8 років.

Радіолокаційні зображення, що отримуються з КА, практично в реальному масштабі часу передаються по радіоканалах через КА-ретранслятори ТОК5 (розміщені на геостаціонарній орбіті) в Центр прийому та обробки інформації (М.Вашингтон).

Радіолокаційна система "Lacrosse" істотно розширила можливості американської системи видової розвідки по веденню всепогодної та цілодобової зйомки об'єктів.

**Система морської радіо- і радіотехнічної розвідки "SSU" (початок експлуатації – 1980 рік).** Призначення: виявлення та слідкування за кораблями та підводними човнами в акваторії Світового океану, для визначення їх місцезнаходження та курсу пересування, а також розпізнавання їх держналежності.

КА "SSU" кожної групи запускаються разом з КА "NOSS", за допомогою яких розташовуються на орбіті на відстані 30–260 км. один від одного. Така побудова угруповання дозволяє виявляти координати кораблів інтерферометричним методом. Площини орбіт групи КА "SSU" позвернуті на 60–120 градусів один відносно одного. Таке розташування групи КА "SSU" та можливості супутників дозволяють проводити суцільний огляд акваторії Світового океану (система із 4-х груп забезпечує огляд акваторії будь-якого океану за 1,5–2,5 години). КА "SSU" кожної групи одночасно приймають випромінювання РЕЗ в діапазоні частот 50–40000 МГц та зберігають їх в пам'яті. Потім інформація по радіоканалах передається на наземні станції прийому з подальшою обробкою та аналізом.

В 1996 році в США утворено Національне управління видової інформації і картографії (NIMA) для оперативного управління процесами збору і розподілу видової інформації в інтересах військово-політичного керівництва, розвідувального

співтовариства і видів збройних сил. Замовником і оператором є Національне управління космічної розвідки NRO.

В 90-х роках ХХ століття в США почали розробку та випробування нових експериментальних космічних



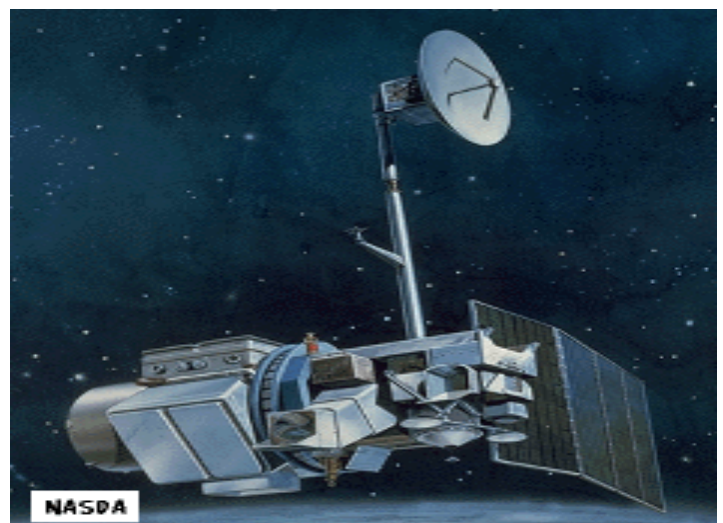
КА NOAA-15(K) серії GOES (США)

апаратів. Експериментальний космічний апарат МТІ (Multispectral Thermal Imager – багатоспектральний тепловий датчик зображень, 1993 р.) призначений для відпрацювання апаратури і методів виявлення об'єктів, пов'язаних з виробництвом, збереженням і випробуванням ядерної зброї. Експериментальний космічний апарат Sindri (інше позначення – MightySat II – могутній супутник, 1995 р.) призначений для застосування апаратури гіперспектральної зйомки і методів виявлення замаскованих об'єктів, а також для випробувань іншої перспективної апаратури військових супутників.

Сполучені Штати в 70-х роках створили першу у світі цивільну систему дистанційного зондування Землі Landsat, розроблену за контрактами космічного агентства NASA. У 90-х роках були розпочаті невдалі спроби комерціалізації системи Landsat. У результаті склалася досить складна система взаємодії урядових управлінь NASA, NOAA, USGS і часток компаній при управлінні і розподілі інформації в системі Landsat. Наприкінці 90-х років програми створення космічних засобів ДЗЗ вдалося розділити: агентство NASA фінансує програму створення оперативних засобів систематичного моніторингу "Системи спостереження Землі" (Earth Observation System – EOS), а найбільші компанії військово-промислового комплексу одержали ліцензії на створення комерційних систем зйомки Землі з високою розрізненністю.

У теперішній час цивільний сегмент космічних засобів ДЗЗ США формують системи трьох основних типів:

система ДЗЗ на базі КА Landsat-5,-7, інформацію від яких поширюють як урядові агентства (геологічна служба USGS і управління NOAA), так і приватні компанії;



КА типу Landsat (США)

система супутників середньої і низької розрізненності, створених за федеральною програмою EOS (Terra, EO-1) на кошти агентства NASA;

комерційні системи зйомки Землі з високою розрізненністю, створені на кошти компаній і приватних інвесторів.

В 1984 році Конгрес США прийняв закон про комерціалізацію державної системи ДЗЗ Landsat (Land Remote Sensing Commercialisation Act) з розрізненністю до 30 м. Усі наступні рішення Конгресу й Президента США направлені на лібералізацію доступу до інформації космічного спостереження, яка до того була закрита для недержавних замовників, та комерціалізацію її добування і розповсюдження.

Компанія Space Imaging EOSAT (SI/EOSAT) є оператором супутників Ikonos-2, Landsat-5 і з 1991 року займається поширенням даних видової зйомки від КА типу IRS (Індія) та Radarsat-1 (Канада).

Комерційна система ДЗЗ на базі супутників Ikonos призначена для одержання видової інформації з високими розрізненністю і якістю в інтересах приватних компаній, державних і військових органів, а також закордонних клієнтів.

З 1989 року компанія CTA Space Systems розпочала розробку малих КА ДЗЗ у рамках програми LIGHTSAT (LIGHTweight SATellite) управління перспективних досліджень Міністерства оборони США DARPA.

Комерційна система ДЗЗ на базі супутників QuickBird призначена для одержання видової інформації з високими розрізненністю і якістю в інтересах приватних компаній, закордонних клієнтів, державних



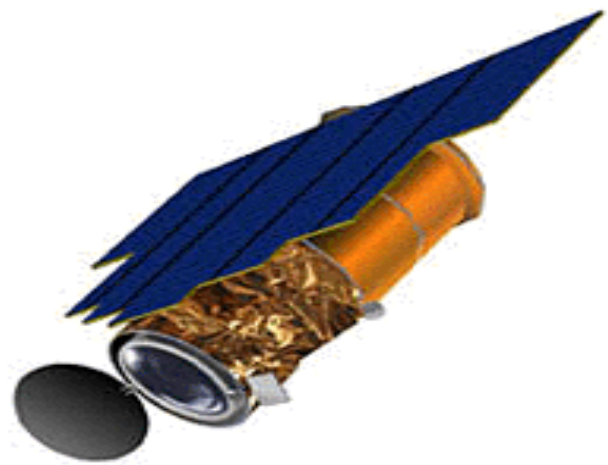
КА QuickBird-2 (США)

і військових органів. В 2001 році здійснено успішний запуск на орбіту КА QuickBird-2.

Комерційна система ДЗЗ на базі супутників OrbView (компанія OrbImage, початок робіт 1990 р.) призначена для одержання видової інформації з високою розрізненістю і якістю в інтересах приватних компаній, закордонних клієнтів, державних і військових органів. До складу системи входять 2 КА (OrbView-2, який виведений на орбіту у 1997 році, та КА OrbView-3, виведений на орбіту у 2003 році), головний центр управління у Даллесі (резервна станція управління – у Джемен-Тауні).

Космічні апарати серії EOS створюються відповідно до американської наукової програми Earth Science Enterprise і служать для збору інформації про стан біосфери Землі і тих змін, що у ній відбуваються в результаті природних процесів і життєдіяльності людей. До апаратів серії EOS належать вже виведені на орбіту КА EOS AM-1 (він же TERRA) і КА EOS PM-1 (інше найменування КА - AQUA) та EOSCHEM-1.

Основними розроблювачами КА EOS є найбільші американські аерокосмічні компанії Lockheed Martin (КА EOS AM-1) і TRW (КА EOS PM-1 і EOSCHEM-1). У розробці бортової апаратури крім США також брали участь компанії Японії, Канади, Бразилії і країн Європи.



КА OrbView-3 (США)

Експериментальний космічний апарат Earth Observing-1 (EO-1) створений за замовленням агентства NASA у рамках програми New Millennium для відпрацювання перспективних технологій і апаратури зйомки земної поверхні і продовження збору інформації, розпочатої космічними апаратами

серії Landsat. 21 листопада 2000 року здійснено успішний запуск КА EO-1 на полярну орбіту.

### **1.3. Космічні системи ДЗЗ Російської Федерації**

Російська Федерація є правонаступником Радянського Союзу. До середини 70-х років ХХ століття Радянський Союз був світовим лідером в освоєнні космосу (4 жовтня 1957 року вперше в світі Радянський Союз успішно запустив штучний супутник Землі, 12 квітня 1961 року у навко-лоземному космосі побував, вперше в історії людства Землі, громадянин СРСР Ю.О.Гагарін). Однак значно більші фінансово-економічні можливості США та відставання СРСР у деяких виробничих технологіях з часом вимусили Радянський Союз поступитись лідерством. Зараз Росія є другою в світі державою за потенціалом космічних систем і то завдяки радянській спадщині. Темпи розвитку космічних технологій в Росії відстають не тільки від американських, а й від китайських, французьких, ізраїльських та деяких інших. Нині Росія, як і Україна, поступово втрачає лідерство у галузі сучасних космічних технологій.

У різні часи у системі космічної розвідки РФ використовувались наступні системи розвідувальних КА:

- фотографічної розвідки ("Кобальт", "Орлец", "Облік");
- оптико-електронної розвідки (КА "Неман" та "Аракс");
- радіотехнічної розвідки (КА "Целина-2");
- морської радіо- і радіотехнічної розвідки.

**Система фотографічної розвідки "Облік" (початок експлуатації – 1962 рік).** Призначення: регулярне та оперативне слідкування за територією і стратегічними об'єктами іноземних держав, розвідка будівництва та

функціонування важливих воєнних і промислових об'єктів, розвідка районів навчань.

Космічні апарати ФР "Облік" відносяться до апаратів фоторозвідки серії "Зеніт". Запуски виконуються з космодрому Плесецьк ракетами-носіями 11А511У ("Союз-У"). Висота робочої орбіти підтримується в межах від 190 до 256-265 км. Нахилення орбіт складає 82,3–82,6 град., період обертання - 88,6–89,6 хв.

Номінальна тривалість польоту апаратів даного типу з обліком запасу палива складає 14 доби. Однак може бути збільшена і до 22 діб.

Супутники фотографічної розвідки серії "Зеніт" використовувалися починаючи з 1962 року. В міру поширення експлуатації більш ефективних КА серії "Янтарь", застосування "Зенітів" у 80-х роках стало скорочуватися.

У 1992 та 1993 роках по одному апарату даного типу було запущено в інтересах ЗС РФ. У 1993 року аналогічний апарат був використаний для зйомки в інтересах Федеральної служби геодезії і картографії Росії (цей апарат одержав назву "Ресурс Т").

На сьогодні апарат даного типу після деякої модернізації використовується у комерційній сфері для отримання та подальшого продажу зображень поверхні Землі. Цивільна модернізована модель апарату має назву "Ресурс-Ф-1/-2". Отримані після зйомки фотоматеріали в першу чергу обробляються у Центрі космічної розвідки тільки після чого матеріал поступає замовнику або на ринок космічних матеріалів дистанційного зондування Землі.

**Система детальної фотографічної розвідки (ФР) "Кобальт" (початок експлуатації – 1981 рік)** Призначення: спостереження за територією і стратегічними об'єктами іноземних держав, розвідка будівництва та функціонування важливих воєнних і промислових об'єктів, контроль за виконанням міжнародних угод по обмеженню і скороченню озброєнь.

КА детальної фоторозвідки "Кобальт" відноситься до третього типу апаратів детальної фоторозвідки серії "Янтарь". КА ФР "Кобальт" запускаються

з 21 серпня 1981 р. (виведено близько 75 апаратів). Усі запуски виконуються з космодрому Плесецьк ракетами-носіями 11А511У ("Союз-У"). Висота робочої орбіти підтримується в межах від 160-180 до 350-380 км. Нахилення орбіт складає 67,2 град., період обертання - 89,6 хвилин.

Довжина маршруту, безперервного фотографування від 15 до 500 км. Бортовий запас фотоплівки становить 2700 м. Тривалість активного функціонування складає до 60 діб.

Наприкінці 80-х років запуски КА здійснювалися з частотою 6-7 разів на рік, що при тривалості польоту кожного апарата 55-59 діб забезпечувало практично безперервну присутність на орбіті одного КА детальної фотографічної розвідки. В останні роки у зв'язку з фінансовими труднощами кількість запусків різко скоротилося. У зв'язку з цим запуски стали здійснюватися тільки у весняний і літній періоди, а час роботи КА на орбіті було продовжено до 70 діб.

**Система фотографічної розвідки "Орлець" (початок експлуатації – 1989 рік).** Призначення: регулярне та оперативне слідкування за територією і стратегічними об'єктами іноземних держав, розвідка будівництва та функціонування важливих воєнних і промислових об'єктів, розвідка районів навчань.

КА ФР "Орлець" являється супутником детальної фотографічної розвідки, що класифікується як "шосте покоління" російських (радянських) КА видової розвідки. Ці апарати відрізняються тим, що доставка знятої плівки на Землю здійснюється в малогабаритних контейнерах. Це дозволяє збільшити кількість контейнерів у порівнянні з попередніми апаратами детальної розвідки і таким способом збільшити оперативність доставки інформації при збереженні загального ресурсу роботи апарата. Поряд із скиданням плівки в контейнерах ці апарати здійснюють передачу зображення по радіоканалу. Така відеоінформація має більш грубу розрізненість і може використовуватися для оглядового спостереження. КА ФР "Орлець" запускаються з космодрому

Байконур ракетами-носіями "Союз-У2" (11А511У2) або "Союз-У" (11А511У). Форма робочої орбіти в основному відповідає використовуваної КА детальної розвідки типу "Янтар", але менше витягнута і характеризується більш високим перигеєм.

Висота робочої орбіти підтримується в межах від 170-180 до 340-370 км. Нахилення орбіт складає 64,9 град., період обертання – 89,4 хвилин. Номінальна тривалість польоту апаратів даного типу складає до 120 діб. КА обладнано комплектом із трьох довгофокусних фотоапаратів, що забезпечує ширину смуги зйомки 180 км при висоті польоту 200 км. Запас плівки в довгофокусних апаратах забезпечував одержання 1500 кадрів (т.ч. сумарна площа зйомки за час польоту складає  $1500 \times (60 \text{ км} \times 60 \text{ км}) = 5,4 \text{ млн. кв. км}$ ).

**Система оптико-електронної розвідки "Неман" (початок експлуатації - 1982 рік).** Призначення: регулярне та оперативне слідкування за територією і стратегічними об'єктами іноземних держав, розвідка будівництва та функціонування важливих воєнних і промислових об'єктів, розвідка районів навчань, уточнення даних про обстановку в районах з кризовою ситуацією.

Космічні апарати ОЕР Російської Федерації (колишнього СРСР) запускаються з 1982 р. Усі запуски виконуються з космодрому Байконур ракетами-носіями 11А511У ("Союз-У"). КА виводяться на орбіту висотою 185-190 на 305-310 км, а потім за допомогою бортової коригувальної рухової установки переводяться на робочу орбіту. Висота робочої орбіти підтримується в межах від 198-200 до 274–290 км, для чого з інтервалами в 2-4 тижні проводяться корекції орбіти. Нахилення орбіт складає 70,4 град., період обертання - 89,4 хвилин.

Тривалість активного функціонування останніх КА "Неман" складала більше 6 років.

Результати спостережень передаються по закритим спеціальним радіомережам в масштабі часу, близькому до реального, через КА-ретранслятор "Гейзер" на Центральний пункт прийому та обробки інформації, де проводиться

обробка інформації. Мінімальний час доставки інформації з КА на наземний комплекс прийому – 1,5–2 години з моменту прольоту КА над об'єктом (районом) розвідки. Два рази за добу проводиться закладення програм роботи КА.

**Система радіотехнічної розвідки "Целина-2" (початок експлуатації - 1984 рік).** Призначення: визначення місцезнаходження, головних ТТХ та режимів роботи радіоелектронних засобів.

Супутники радіотехнічної розвідки "Целина-2" запускаються з 1984 г. Усі запуски виконуються з космодрому Байконур ракетами-носіями "Зенит-2". Висота робочої орбіти підтримується в межах від 878-880 до 851-852 км. Нахилення орбіт складає, як правило, 71 град.

**Система морської радіо- і радіотехнічної розвідки (система морської космічної розвідки і цілевказівки (СМКРЦ)).** Призначення: виявлення і пеленгація електромагнітних сигналів, що випромінюються кораблями ВМС потенційного супротивника, з метою відслідковування місцерозташування військово-морських угруповань в акваторії Світового океану та видачі цілевказівки для систем протичовнової зброї.

**Система оптико-електронної розвідки "Аракс" (початок експлуатації - 1997 рік).** Призначення: високоперіодична система розвідки стратегічних об'єктів і динаміки їх функціонування, базування сил авіації та флоту.

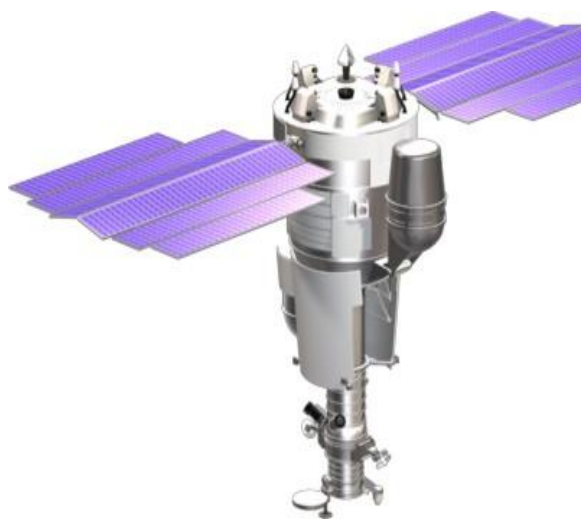
Провідним підприємством російської ракетно-космічної галузі у сфері створення космічних систем зйомки Землі оборонного і соціально-економічного призначення є Державний науково-виробничий ракетно-космічний центр "ЦСКБ-Прогресс" [10].

До основних космічних фотографічних комплексів, що в останні роки використовуються в Росії для цілей соціально-економічного розвитку країни, відносяться система картографічної зйомки подвійного призначення "Комета" і природо-ресурсні КА серії "Ресурс-Ф".

Прообразом супутників серії "Ресурс-Ф" послужили фоторозвідувальні автоматичні супутники "Зеніт-2". Ідея такого супутника з'явилася в урядовій постанові Радянського Союзу 1959 р. Мова йшла про створення орієнтованого космічного апарату, здатного з отриманою інформацією повертатися на Землю. Розробка документації і польотні тести комплексу "Зеніт-2" (11Ф61) пройшли між 1960 і 1963 рр. Перший супутник типу "Зеніт" стартував 26 квітня 1962 р.

Космічний комплекс (КК) "Ресурс-Ф1" розроблений у 1975-1979 рр. для різномасштабного багатозонального і спектронального фотографування земної поверхні з високою розрізненістю. Супутник забезпечував одержання фотоінформації, необхідної для дослідження природних ресурсів Землі й екології, промислового випуску космічної картографічної продукції масштабом від 1:1000000 до 1:100000 для різних галузей народного господарства. Супутник "Ресурс-Ф1" міг перебувати на орбіті до 25 діб, з них частину часу (до 11 діб) – у черговому режимі. Зняті фотоматеріали доставлялися на Землю в апараті, що спускався. У період з 1979 по 1993 рр. було запуснено 52 супутники "Ресурс-Ф1", з них тільки 2 – невдало.

У 1997 р. розпочалася експлуатація модернізованого російського комплексу "Ресурс-Ф1М". Замість одного топографічного фотоапарату КАТЭ-200 встановлена була довгофокусна камера КФА-1000, а також знижена висота кругової робочої орбіти з 275 до 235 км і введена еліптична орбіта з мінімальною висотою 180 км. Завдяки цим змінам просторова розрізненість поліпшилась до 3...5 м, а смуга захоплення розширилась до 205 км. Сумарний термін функціонування складав 25 діб, з них 19 – робочих. Проведені були успішні орбітальні випробування



КА "Ресурс-ДК" (Росія)

двох комплексів: КА "Ресурс-Ф 1М" (№1) у період 18.11.97-13.12.97 р. і КА "Ресурс-ФІІ" (№2) – 28.9.99-21.10.99 р.

З 1987 р. експлуатувався космічний комплекс "Ресурс-Ф2", призначений для синхронного багатоканального і спектрозонального фотографування поверхні Землі з високою розрізненістю, а також для картографічної зйомки в інтересах складання карт масштабу 1:100000 і відновлення карт масштабу 1:50000. На відміну від "Ресурса-Ф1" на апаратах серії Ф2 використовувалися сонячні батареї, що дозволило збільшити час роботи КА на орбіті до 30 діб. Крім того, на борту КА замість апаратів КАТЭ-200 і КФА-1000 встановлена високоінформативна багатозональна фотокамера МК-4, що здійснює фотографування в чотирьох зонах спектру із шести можливих. За допомогою МК-4 одержують багатозональні знімки з розрізненістю 5...8 м, спектрозональні – 8...12 м. Апаратура КА дозволяє при необхідності проводити багатозональну зйомку в сполученні зі спектрозональною і кольоровою фотозйомкою. На основі стереопар можуть бути розроблені цифрові моделі рельєфу місцевості з геометричною точністю (СКВ)  $\pm 25...30$  м у плані і  $\pm 40...45$  м по висоті.

Збільшений був час активного польоту КА "Ресурс-Ф2", що дозволило здійснювати дво- і триразове покриття всієї поверхні Землі без використання чергового режиму.

Усього з 1987 по 1995 рр. були запуснені: 10 КА "Ресурс-Ф2".

З початку 90-х років у штатній експлуатації знаходився КА "Ресурс-Ф3", що виконував зйомку камерою КФА-3000 із просторовою розрізненістю близько 2...3 м.

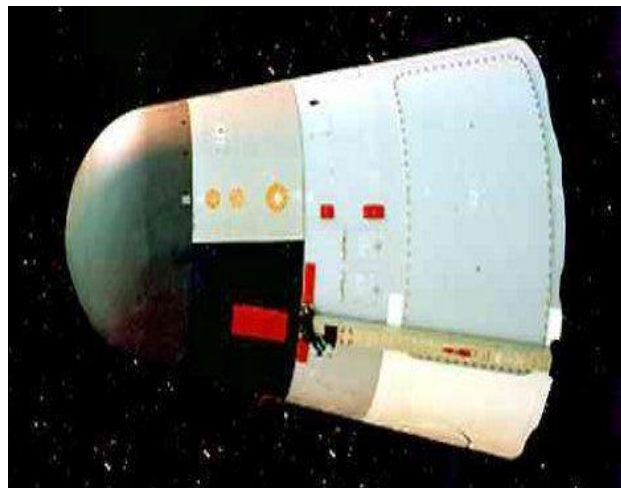
#### 1.4. Космічні системи ДЗЗ Китайської Народної Республіки

Китай став третьою після США і СРСР державою, що створила в середині 70-х років космічні засоби видової фотографічної розвідки. Національна космічна програма носить військово-прикладний характер і реалізується під керівництвом комісії з оборонної науки, техніки й оборонної промисловості (КОНТОП), керівництво цивільними космічними програмами здійснює китайська аерокосмічна корпорація (CASC – China Aerospace Corporation). Обробку даних космічної зйомки з високою розрізненістю в інтересах Міноборони здійснюють управління ГШ НОАК, а в інтересах цивільних користувачів – національний центр ДЗЗ академії наук КНР (NRSCC – National Remote Sensing Centre of China). Роботи у галузі космічної зйомки Землі ведуться по трьох напрямках:

- експлуатація системи військової видової розвідки типу FSW;
- прийом даних від закордонних комерційних КА ДЗЗ;
- створення та експлуатація

системи оптико-електронного спостереження подвійного призначення на базі КА ZY.

Необхідність створення військової системи космічної видової розвідки визначалася в першу чергу потребами розвитку стратегічної ракетної зброї. Орбітальні випробування фоторозвідувальної апаратури були завершені у 1975-1978 рр., а з 1982 р. розпочалася регулярна експлуатація оперативних супутників фоторозвідки типу FSW. У 90-х роках Китай удосконалював базову



КА типу FSW 2

модель фоторозвідувального КА і паралельно розробляв перспективні засоби оптико-електронної і радіолокаційної розвідки.

Обмежені можливості власних КА видової розвідки змусили китайців шукати інші джерела одержання космічних знімків земної поверхні. У 1986 році в Міюнь (100 км східніше Пекіна) була введена станція для прийому інформації з борту американських КА розвідки природних ресурсів типу LANDSAT, яка була поставлена американською компанією ST Systems за контрактом на суму 11 млн. дол. США. Зона видимості станції охоплює близько 85% площі Китаю, території Кореї, Тайваню і Японії. Центр обробки даних ДЗЗ створений у Пекіні. Надалі станція була дообладнана для прийому інформації з бортів інших комерційних КА ДЗЗ типу SPOT, ERS, JERS і RADARSAT. У 1997 році Китай уклав контракт на придбання мобільних станцій FASTTRACS для прийому даних з бортів КА SPOT і RADARSAT. Це дозволить збільшити оперативність прийому даних космічної зйомки території сусідніх з Китаєм держав.

Китайські КА фоторозвідки FSW (Fanhui Shi Weixing – "експериментальний КА, що повертається") призначені для рішення задач в інтересах розвідувального і картографічного управління Генштабу НОАК, а з 80-х років – для зйомки Землі й експериментів в умовах мікрогравітації в інтересах народногосподарських відомств і іноземних замовників. В 1975-1978 рр. на орбіті виведені три експериментальних КА типу FSW. В 1982-1987 рр. запуски оперативних фоторозвідувальних супутників. В 1987-1993 рр. прийняття на озброєння й експлуатація удосконалених КА типу FSW-1A (на орбіту



КА CBERS-2 (Китай, Бразилія)

виведено 5 супутників, політ одного з них завершився невдало). З 1992 року експлуатація КА типу FSW-2, що являють собою глибоку модернізацію базової моделі. В 2003 році здійснено успішний запуск КА нового покоління FSW-3-1 (FSW-18), який обладнаний новою бортовою апаратурою.

Космічні апарати CBERS (China/Brazil Earth Resource System) за спільною китайсько-бразильською програмою (початок 1998 р.) з оптико-електронною апаратурою призначені для дистанційної зйомки Землі з високою, середньою і низькою розрізненністю в інтересах рішення природоресурсних, екологічних і оборонних задач. Китай буде і випробує перший політний зразок, Бразилія – другий. Китай бере на себе до 70% загальних витрат за програмою. Жовтень 1999 року успішний запуск першого КА CBERS-1 з китайського полігону. В 2003 році здійснено успішний запуск КА CBERS-2.

Основний центр управління знаходиться в Сіань (пров. Шаньсі), резервний – у Сан-Хосе-душ-Кампуш (Бразилія). Управління супутником здійснюється поперемінно обома центрами циклами тривалістю по кілька місяців, однак загальне керівництво і планування роботи здійснює центр у Сіані. Для прийому даних побудовано п'ять наземних станції (три станції у Китаї й дві у Бразилії).

Незабаром після початку експлуатації КА CBERS-1 у Китаї був здійснений запуск нового КА оптико-електронного спостереження, що одержав назву Zi Yuan-2A (2000 р.) та Zi Yuan-2B (2002 р.).

Відсутність даних про характеристики апаратів свідчить про те, що КА відносяться до апаратів подвійного призначення і призначені для вирішення як оборонних завдань, так і завдань соціально-економічного характеру.

## **1.5. Космічні системи ДЗЗ Франції**

Франція стала четвертою країною світу (після США, Росії, Китаю), яка створила національну систему оперативного оптико-електронного

спостереження SPOT, що забезпечувала вирішення соціально-економічних, комерційних і військово-прикладних задач. В даний час Франція відіграє провідну роль у розвитку космічних засобів Європейського союзу [10] і продовжує оперативну експлуатацію космічної системи ДЗЗ SPOT і системи видової розвідки HELIOS.

Проект HELIOS ("Геліос" – Сонце) став першою європейською і першою спільною системою видової космічної розвідки, фінансованої військовими відомствами Франції (79% бюджету програми), Італії (14%) і Іспанії (7%).

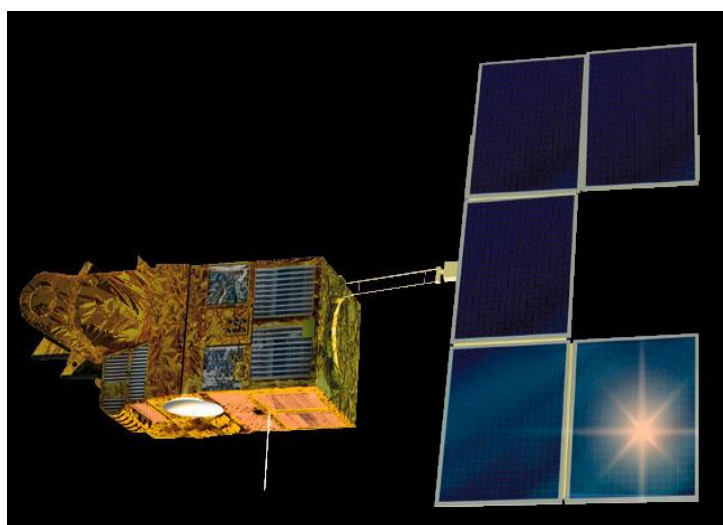


КА HELIOS-1A (ЄКА)

Система HELIOS призначена для одержання даних про стратегічні об'єкти, спостереження за повсякденною діяльністю збройних сил, полігонів і підприємств оборонної промисловості закордонних країн, спостереження за обстановкою в кризових районах, контролю за дотриманням міжнародних договорів, а також вирішення

інших задач в інтересах країн - учасниць проекту.

В 1986 році Франція приступила до розробки системи HELIOS-1 (проектна вартість 10 млрд. франків). В 1995 році початок експлуатації системи HELIOS-1 (запуск 7.07.95 р., введення в стрій у жовтні 1995р.). В 1999 році здійснено



КА Spot 4 (Франція)

успішний запуск другого КА HELIOS-1B (3.12.99 р.).

Французька система ДЗЗ SPOT (Systeme Probatoire l'Observation de la Terre) призначена для вирішення широкого кола соціально-економічних, комерційних і військово-прикладних задач з високою оперативністю й у глобальному масштабі. Початок робіт 1978 рік. Для маркетингу інформації урядові організації і приватні фірми Франції, Бельгії і Швеції утворили компанію SPOT Image. В 1986 р. здійснено запуск першого КА SPOT-1, початок експлуатації системи. В 1989 р. почались розробки КА SPOT-4 зі збільшеною продуктивністю і додатковим каналом зйомки в ІЧ діапазоні, а в 1994 році початок розробки КА SPOT-5.



КА Spot 5 (Франція)

## 1.6. Космічні системи ДЗЗ Великобританії

Протягом 60-70-х рр. Великобританія, будучи найближчим союзником США, не розробляла космічні апарати оптичної зйомки Землі військового і цивільного призначення. Найбільшим пріоритетом у національній космічній програмі користувалися проекти військового супутникового зв'язку, науково-дослідні і спільні, реалізовані в рамках європейського космічного агентства.

Основні зусилля державної політики Великобританії в області ДЗЗ довгий час були зосереджені на створенні супутникової апаратури радіолокаційної зйомки Землі й океанів у рамках програм Європейського космічного агентства

ERS та ENVISAT. Для прийому й обробки даних ДЗЗ у 1980 р. створений національний центр дистанційного зондування NRSC у Фарнборо. У 1996 р. був прийнятий перспективний космічний план (Forward Plan for Space), в якому найвищий пріоритет віддається створенню інфраструктури використання даних ДЗЗ.

Провідні позиції у світі у сфері розробки міні-супутників (масою до 100 кг) і мікроапаратів (масою до 50 кг) оптичної зйомки Землі і зв'язку займає приватна британська компанія SSTL, створена при університеті Суррей. Компанія працює на замовлення іноземних компаній і організацій, самостійно розробила проект системи моніторингу районів екологічних лих і одержала державне замовлення на розробку першого британського військового КА зйомки Землі TOPSAT.

Міні-КА на базі платформи "Контелла" (Contella) призначені для оптичної зйомки поверхні Землі в складі системи спостереження районів катастроф DMC (Disaster Monitoring Constellation) і системи оптичного спостереження EOS (Earth Observation System) в інтересах екологічного моніторингу, дослідження природних ресурсів і вирішення інших задач науково-прикладного характеру.

Головний розроблювач системи міні-супутників на базі платформи "Контелла" (Contella), що призначені для оптичної зйомки поверхні Землі, є компанія SSTL (Surrey Satellite Technology Ltd), створена при університеті Суррей (Великобританія). Компанія має значний досвід створення малих супутників серії UoSat (усього до 2001 р. запусчено 14 одиниць, зроблених на замовлення різних країн).

Міні-супутник TOPSAT (Tactical Operational SATellite) – перший апарат, що розробляється для військової оптико-електронної розвідки Великобританії. Він призначений для роботи апаратури і методів ведення оперативної видової розвідки в інтересах командування передових угруповань військ на окремих ТВД.

## 1.7. Космічні системи ДЗЗ Німеччини

Німеччина не має національної оперативної космічної системи дистанційного зондування Землі. З 80-х років у Німеччині ведеться розробка ескізних проектів військової системи видової радіолокаційної розвідки. У 1999 р. по контрактах міністерства оборони Німеччини компанії OHB System і DASA на конкурсній основі розробили ескізні проекти малих КА радіолокаційної зйомки з розрізненністю до 1 м по програмі SAR Lure. Незважаючи на відносно низьку вартість системи, рішення про повномасштабну розробку планується прийняти за результатами пошуку партнерів серед європейських країн. Ведуться переговори про функціональне об'єднання SAR Lure з перспективними системами, що мають оптико-електронну апаратуру видимої й інфрачервоної ділянок спектру, що створюються у Франції й Італії.

## 1.8. Космічні системи ДЗЗ Японії

Японський космічний апарат ALOS (Advanced Land Observation Satellite) призначений для продовження глобальної зйомки поверхні Землі, початої КА JERS і ADEOS-1 в інтересах вирішення задач картографії, пошуку корисних копалин, спостереження за екологією, розвитком регіонів і відпрацювання перспективних



КА JERS-1 (Японія)

технологій зйомки Землі (початок розробки – 1994 р.).

Кабінет міністрів Японії прийняв рішення про створення національної військової системи видової космічної розвідки в листопаді 1998 р., після того як з території КНДР у напрямку Японських островів був здійснений випробувальний пуск північнокорейської балістичної ракети в серпні 1998 р.



КА IGS-1A (Японія)

Проект одержав назву "багатоцільова розвідувальна система" (MIGS – Multipurpose Intelligence Gathering System). Початок виготовлення бортового устаткування і зборка супутників була розпочата у 2000 р. У 2003 році на орбіту виведений КА IGS-1A.

### 1.9. Космічні системи ДЗЗ Ізраїлю

Ізраїль став восьмою державою світу, що запустила (у 1988 році) супутник за допомогою власної ракети-носія Shavit ("Шавіт" – комета). З самого початку ізраїльська програма створення космічних засобів зйомки Землі носила військову спрямованість. У 1988 і 1990 рр. Ізраїль вивів на орбіту два військово-експериментальних супутники серії



КА OFEQ-3 (Ізраїль)

OFEQ ("Офек" – обрій), призначених для застосування апаратури видової і радіотехнічної розвідки. На даний час на орбіті перебуває військовий КА OFEQ-5 (виведений на орбіту у 2002 році), комерційний КА EROS-A1 (виведений на орбіту у 2000 році).

Спільна ізраїльсько-американська космічна система зйомки земної поверхні з високою розрізненістю EROS (Earth Resources Orbital Satellite) створена (початок робіт 1991 р.) в інтересах рішення військових, соціально-економічних і комерційних задач. грудень 2000 р. – успішний запуск КА EROS-A1 з космодрому Свободний за допомогою РН "Старт-1". У січні 2001 року отримані перші зображення земної поверхні.



КА OFEQ-5 (Ізраїль)

Оператором системи EROS є компанія ImageSat International (ISI), штаб-квартира розташована на Кайманових островах, офіси – в Ізраїлі та США. Компанія створена ізраїльською держкорпорацією IAI і американською

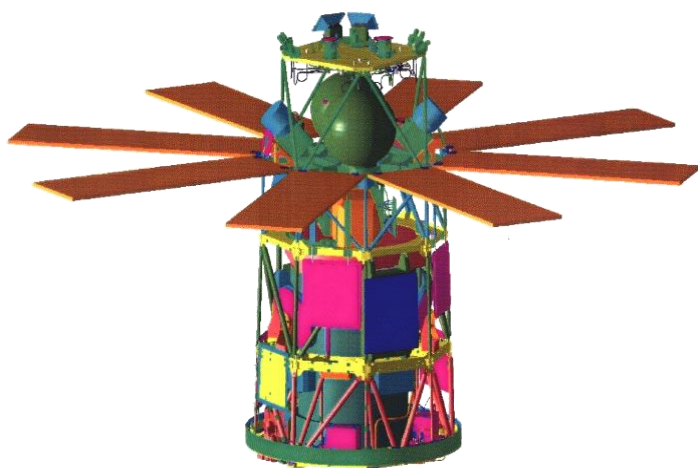


Рис.6.1. КА EROS-C (Ізраїль)

компанією CST (Core Software Technologies), до 2000 р. носила найменування West Indian Space (WIS). У 2000 р. власниками акцій компанії стала група міжнародних інвесторів, на чолі з американською компанією Pegasus Capital Advisors.

## 1.10. Космічні системи ДЗЗ Індії

Перша апаратура дистанційного зондування Індії була випробувана на борту експериментальних супутників «Бхаскара-1 і -2», виведених на орбіту у 1979 і 1981 рр., однак експлуатація національної космічної системи ДЗЗ розпочалося тільки у 1988 р. після успішного запуску першого супутника серії IRS – IRS-1A. На початку 2004 р. в експлуатації знаходилися шість КА IRS-1A, IRS-1B, IRS-P2, IRS-1C, IRS-P3, IRS-1D та проходив випробування IRS-P6.



КА IRS-P4 (Індія)

Розвиток національної системи ДЗЗ є одним із пріоритетних напрямків реалізації космічної програми Індії і має чітко виражену

практичну спрямованість. Індійська космічна система дослідження природних ресурсів Землі IRS (Indian Remote Sensing) створена у 1988 році і, завдяки могутній державній підтримці, є однією із самих великих і динамічно розвинутих систем у світі. Для оперативної експлуатації системи і застосування



КА IRS-P6 (Індія)

результатів космічної зйомки в Індії створена національна система використання природних ресурсів NNRMS (National Natural Resources Management System). В міру удосконалювання апаратури супутники IRS стали активно застосовуватися не тільки для вирішення

народногосподарських завдань, але й у військових цілях, а також для комерційної зйомки в інтересах закордонних споживачів.

Оперативні КА серії IRS-1C, -1D, створені в рамках державної програми ДЗЗ Індії, призначені для вирішення задач оперативної оглядової і детальної зйомки Землі в інтересах державних цивільних і військових користувачів, а також для вирішення комерційних завдань.

### **1.11. Космічні системи ДЗЗ Республіки Корея**

З початку робіт з реалізації космічної програми у 1992 р. у Республіці Корея створені національні системи дистанційного зондування Землі і зв'язку. На 2001 р. на орбіту успішно виведено 7 космічних апаратів (4 – зі знімальною апаратурою і 3 телекомунікаційних), розроблених при сприянні США і Великобританії. Через відсутність власних полігонів і ракет-носіїв Корея користується пусковими послугами США (Західний і Східний полігони, РН Delta-2 і Taurus) і європейських країн (полігон Куру, РН Ariane-4). Загальне керівництво військовою космічною програмою здійснює агентство оборонних розробок Міністерства національної оборони Кореї. Реалізація програми була припинена у 1997 р. через економічну кризу і відновлена у 1999 р.

Основні роботи в області ДЗЗ ведуться в двох центрах – Корейському інституті науки і технологій KAIST (Korean Advanced Institute of Science and Technology) і Корейському інституті аерокосмічних досліджень KARI (Korean Aerospace Research Institute). Замовниками робіт є міністерство науки і техніки й агентство оборонних розробок Міністерства оборони Кореї.

Kitsat-1 – мікросупутник (маса 50 кг), розроблений компанією SSTL при університеті Суррей (Великобританія) на замовлення Корейського інституту

науки і технології KAIST, запусканий європейською ракетою-носієм "Ariane-4" у 1992 р. (на даний час не функціонує).

Kitsat-2 – мікросупутник, аналогічний попередньому за складом апаратури, виведений на орбіту у вересні 1993 р. РН "Ariane-4". Встановлено удосконалену кольорову триканальну камеру з розрізненністю 200 м у смузі 2 км (на початок 2004 р. перебуває в оперативному використанні).

Kitsat-3 (Wooribyul-3 – "Наша зірка") – мінісупутник масою 107 кг, розміром 0,5x0,6x0,8 м, розроблений в інституті KAIST на основі досвіду, отриманого в результаті створення двох супутників разом з компанією SSTL. Апарат виведений на орбіту за допомогою індійської РН PSLV-C2 у 1999 р. (вартість запуску – 150 тис. дол. США; на даний час не функціонує).

Малий КА KOMPSAT-1 призначений для детальної картографічної зйомки Землі і багатоспектральної зйомки морської поверхні в інтересах вирішення соціально-економічних, наукових і військових задач. Малий супутник розроблений в рамках урядової програми розвитку технологій ДЗЗ у Кореї. Фінансування програми здійснювали з 1994 р. До складу системи входять малий КА на сонячно-синхронній орбіті і центр управління і прийому даних у Течжон.

## 2. ЗАВДАННЯ ТА ОБ'ЄКТИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ СИСТЕМАМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ З КОСМОСУ

### 2.1. Загальні завдання систем дистанційного зондування Землі військового та цивільного призначення

Космічні системи дистанційного зондування Землі призначені для забезпечення галузей соціально-економічної сфери і органів державного управління даними спостереження про природні і техногенні об'єкти, явища та події. Розвиток космічної техніки та інформаційних технологій створив науково-технічні можливості видового космічного зондування Землі з високою розрізненною здатністю [6,8-10]. Для проведення такого зондування на космічних апаратах (КА) встановлюються оптико-електронні засоби (ОЕЗ), радіолокаційні засоби з синтезованою апертурою (РСА) та космічна фотографічна апаратура (КФА). Досвід використання космічних систем спостереження показує великі потенційні можливості використання результатів дистанційного зондування Землі при вирішенні широкого кола задач практично у всіх галузях економіки і соціальної сфери.

Дистанційне зондування Землі забезпечує унікальні можливості оперативного збору даних в глобальному масштабі з високим просторовим, спектральним та часовим розрізненністю, що й визначає великі інформаційні можливості космічних систем, можливість їх воєнного використання та потенційну економічну ефективність. Системний підхід потребує поділу сукупності завдань космічних засобів ДЗЗ за показниками наукової, виробничо-господарської та соціальної спрямованості, а саме:

- контролю погодо- та кліматоутворюючих факторів;
- контролю стану джерел забруднення атмосфери, води та ґрунтів;
- контролю надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру;

- інформаційне забезпечення господарської діяльності, раціонального землекористування;

- інформаційне забезпечення національної безпеки та оборони;

- створення динамічної моделі Землі як екологічної системи.

Аналіз інформації про космічні апарати видового ДЗЗ “Ikonos”(США), “EROS” (США й Ізраїль), “KH-11” (США), “SPOT” (Франція), “FSW” (Китай) та інші показує, що вони мають такі узагальнені характеристики [6,10,12]:

- орбіти польоту космічних апаратів видового ДЗЗ близькі до кругових, полярних, сонячно-синхронних з висотою 250-1300 км й періодом обертання навколо Землі 95-105 хвилин та циклом повторення траси 7-21 діб;

- сучасні космічні видові засоби ДЗЗ спроможні виділити об’єкти на Землі з розрізненною здатністю до 0,1 метра й розміром поверхні Землі в одному кадрі зображення (7-20) × (10-40) км;

- продуктивність бортових телескопів КА досягає 800 Мбіт/с, об’єм інформації одного кадру зйомки до 1-2 Гбіт, а бортового запам’ятовуючого пристрою – 40-500 Гбіт.

Вказані обставини накладають певні обмеження на послідовність й зміст операцій з добування інформації ДЗЗ. З метою максимального використання інформаційних та інших ресурсів космічної системи ДЗЗ потрібно проводити дистанційне зондування весь час, поки функціонують програмно-технічні засоби системи.

Ефективність аналізу й інтерпретації космічного зображення визначається змістом та обсягом інформації про об’єкти ДЗЗ, перелік яких зумовлюється тематичним завданням. Як відомо, космічні зображення формуються способом реєстрації електромагнітних випромінювань, що відбиваються або породжуються земними утвореннями та штучними (антропогенними) об’єктами. Різні об’єкти ДЗЗ мають неоднакові спектрально-енергетичні характеристики випромінювання й відрізняються геометричними розмірами, формою і характером поведінки в часі та просторі. Усі ці особливості об’єктів

ДЗЗ мають бути враховані під час вибору космічної системи, за допомогою якої формуються зображення.

Насамперед беруться до уваги такі характеристики [6, 10]:

- спектральний діапазон, у якому проявляють активність об'єкти й процеси, що спостерігаються та вивчаються;
- ступінь детальності спостереження та реєстрації геометричної форми об'єктів і просторових взаємовідношень;
- радіометрична розрізненність, або максимальна кількість бітів, якою квантується динамічний діапазон яскравостей пікселів зображень об'єктів земної поверхні;
- площа (геометричні розміри кадру зйомки) сцени – певного району земної поверхні, який буде спостерігатися;
- гарантоване забезпечення одноразового контролю чи моніторингу (періодичного спостереження з певним часовим інтервалом) визначеного географічного району.

У наш час методами ДЗЗ з космосу успішно виконуються різні тематичні **завдання** для інформаційного забезпечення наукових, народногосподарських проблем та питань національної безпеки й оборони, зокрема [6]:

1. Інвентаризація сільськогосподарських угідь, виділення та ідентифікація типів сільськогосподарських культур, прогнозування врожаїв, аналіз сільськогосподарського потенціалу.
2. Контроль глобальних атмосферних змін – вимірювання температури поверхні, визначення стану поверхні, визначення стану атмосфери, спостереження за хмарними покривами, дослідження “парникового ефекту”.
3. Пошук корисних копалин та енергоносіїв (нафти, природного газу, вугілля).
4. Топографічне картування, створення й оновлення карт, спостереження за зростанням міст, контроль за станом ґрунтів й пасовищ.
5. Спостереження прибережних зон і океанів, контроль водних джерел –

вивчення й визначення океанських ресурсів, вимірювання товщини льоду, визначення снігового покриву та його водного еквівалента, виявлення місць і джерел забруднення акваторій.

6. Контроль за станом лісів, визначення типів лісонасаджень і домінуючих порід, оцінка запасів лісоматеріалів, лісозаготівля.

7. Моніторинг надзвичайних ситуацій – запобігання їм, контроль та оцінювання наслідків повеней, пожеж і землетрусів.

8. Спостереження в інтересах оборони – визначення стану військових, військово-промислових та інженерних споруд, стеження за прикордонними територіями, контроль за масовими пересуваннями військ.

Для систем військового призначення основним завданням є космічна розвідка.

**Космічна розвідка** – це комплекс заходів по здобуванню розвідувальних даних з використанням космічних засобів. Вона є важливою складовою частиною стратегічної технічної розвідки і призначена для оперативного здобування даних щодо озброєння, військової техніки, військових та військово-промислових об'єктів у будь-якому районі земної кулі.

Космічна розвідка має низку *переваг* у порівнянні з іншими видами технічної розвідки:

- можливість здійснення безперешкодного і систематичного контролю за територією у будь-якому районі Землі та в навколосемному космічному просторі;

- глобальність ведення розвідки (широкі смуги захоплення та огляду на поверхні Землі, достовірність розвідки, висока періодичність оновлення інформації);

- можливість комплексного застосування технічних засобів розвідки, які оснований на різних фізичних принципах;

- виконання завдань розвідки у будь-який час доби та року, у простих та складних метеорологічних умовах;

– терміни отримання інформації щодо районів та об'єктів спостереження можуть бути максимально наближені до часу, близького до реального.

Космічна розвідка вирішує наступні **головні завдання** [106, 125, 126, 128, 130]:

– своєчасне попередження про можливі війни й інші події, що можуть загрожувати корінним інтересам країни;

– зміни в бойовому і чисельному складі, в угрупованнях, дислокації, організаційній структурі і технічній оснащеності збройних сил іноземних держав, в організації протиповітряної оборони, виявлення надходження на озброєння військ нових засобів боротьби;

– спостереження за навчаннями і маневрами, виявлення їх цілей і завдань, районів проведення, складу сторін, визначення основних оперативно-тактичних нормативів;

– контроль за виконанням іноземними державами угод про обмеження озброєнь та інших міжнародних угод.

*Завдання загрозового періоду.* Основними завданнями аерокосмічної розвідки в період, що передує початку війни, будуть такі [106, 125, 126, 128, 130]:

– ведення безупинного спостереження за військово-політичною обстановкою на театрі воєнних дій і повсякденною діяльністю збройних сил імовірного агресора і його можливих союзників;

– стеження за змінами в бойовому і чисельному складі, в угрупованнях, дислокації, організаційній структурі та технічній оснащеності збройних сил імовірного агресора і його союзників на театрі воєнних дій, в організації протиповітряної оборони, виявлення надходження на озброєння військ противника нових засобів боротьби;

– встановлення місць розташування ракетних частин, виявлення аеродромів базування літаків-носіїв, районів бойового патрулювання авіаносних груп (угруповань) імовірного агресора і його союзників, а також цілей в інтересах авіаційних і ракетних ударів;

– виявлення систем управління збройними силами на театрі воєнних дій, особливо місць розташування пунктів управління, вузлів зв'язку і радіоелектронних засобів системи ППО, змін у режимі їх роботи;

– розкриття заходів щодо маскуванню імовірним противником і його союзниками військ і об'єктів тилу, з обладнання театру воєнних дій;

– стеження за навчаннями і маневрами імовірного агресора і його союзників, виявлення їх цілей і завдань, районів проведення, складу сторін, основних оперативно-тактичних нормативів;

– здійснення необхідних картографічних зйомок.

У період підготовки до війни всі цивільні засоби космічного спостереження, як показує досвід локальних війн минулого десятиріччя, переорієнтуються, як правило, на виконання завдань в інтересах підготовки до воєнних дій.

### **Завдання воєнного часу.**

Основні завдання й об'єкти аерокосмічної розвідки визначаються залежно від типу, цілей і умов проведення операцій (бойових дій), бойових завдань військ, а також з урахуванням існуючих даних про противника і місцевість.

Розвідка з використанням сил і засобів аерокосмічної розвідки буде вирішувати таку сукупність завдань [106, 125, 126, 128, 130]:

– виявлення ознак безпосередньої підготовки збройних сил противника до проведення операцій (бойових дій);

– виявлення і встановлення місця розташування ракетно-ядерних сил і розвідувально-ударних комплексів противника;

– виявлення сухопутних угруповань противника, їхнього бойового складу, місць розташування і характеру дій, районів зосередження резервів;

– виявлення угруповань авіації противника;

– встановлення угруповань сил і засобів ППО, місць розташування стартових позицій зенітних керованих ракет, їхнього маневру і характеру дій;

- визначення місць розташування складів боєприпасів (в тому числі ядерних і хімічних), а також рухомих пунктів їх збереження;
- виявлення районів розташування резервів противника, їхнього складу, маршрутів і напрямків висування, рубежів розгортання;
- визначення місць розташування, параметрів випромінювання і характеру роботи радіоелектронних засобів систем управління військами і зброєю противника;
- виявлення (уточнення) місць знаходження ударних корабельних угруповань, десантних з'єднань противника;
- виявлення оперативного обладнання району бойових дій об'єктів тилу, характеру місцевості та її інженерного обладнання;
- установлення характеру, напрямків та інтенсивності перевезення військ і вантажів усіма видами транспорту, визначення стану комунікацій і виявлення їх уразливих місць;
- уточнення місця розташування об'єктів перед ударами ракетних військ, авіації і флоту (дорозвідка);
- забезпечення наведення своїх сил і засобів на об'єкти противника і цілевказівки для їх ураження;
- визначення результатів ударів ракетних військ, авіації й артилерії (контрольна розвідка);
- установлення радіаційного і хімічного зараження місцевості й атмосфери;
- визначення районів руйнування, затоплень і пожеж, напрямків (шляхів) їх подолання або обходу, стану комунікацій;
- участь у забезпеченні контролю за ефективністю заходів щодо маскуванню своїх об'єктів і протидія технічним засобам розвідки противника;
- визначення стану погоди;
- картографування.

Сучасні засоби космічної розвідки дозволяють вести цілодобове суцільне спостереження за будь-яким районом земної кулі, визначати координати об'єктів спостереження з точністю від 1-2 до 50 метрів (видові засоби розвідки) та від 2-5 до 100 кілометрів (радіотехнічні засоби розвідки).

На сьогодні силами та засобами для ведення космічної розвідки володіють США, Російська Федерація, Китай, Франція, Індія, Ізраїль та інші країни. Проте, провідними країнами-власниками космічних систем розвідки, з вищенаведених країн, є США та Російська Федерація. На сьогодні цими країнами створені єдині національні орбітальні угруповання розвідувальних космічних апаратів, КА-ретрансляторів та розподілені мережі наземних центрів прийому і обробки даних.

Проведений аналіз показує, що кожна галузь завдань ДЗЗ реалізується в певній області координат “спектральний діапазон – просторова розрізненність на місцевості” [2,3,6,13]. Аналіз діаграм, які наведені на рис.2.1, показує що ряд сфер реалізації різних завдань ДЗЗ суттєво перекривається. Це означає, що виконання завдань, сфери яких перекриваються в координатах “спектральний діапазон – просторова розрізненність на місцевості”, можуть виконуватись однією і тією бортовою апаратурою КА ДЗЗ. Так, наприклад, сфера завдання 3 (пошук корисних копалин) повністю попадає в сферу завдання 5 (спостереження водних поверхонь та їх ресурсів), тобто завдання 3 може бути виконано засобами, що призначені для виконання завдання 5. Засоби космічного спостереження в інтересах оборони (завдання 8) можуть практично повністю вирішувати завдання 1 (інвентаризація сільськогосподарських угідь), топографічне картування (завдання 4), контроль за станом лісів (завдання 6) та моніторинг надзвичайних ситуацій (завдання 7). І навпаки – засоби виконання завдань 1, 4 та 7 можуть бути використані для вирішення завдань спостереження в інтересах оборони (космічна розвідка).

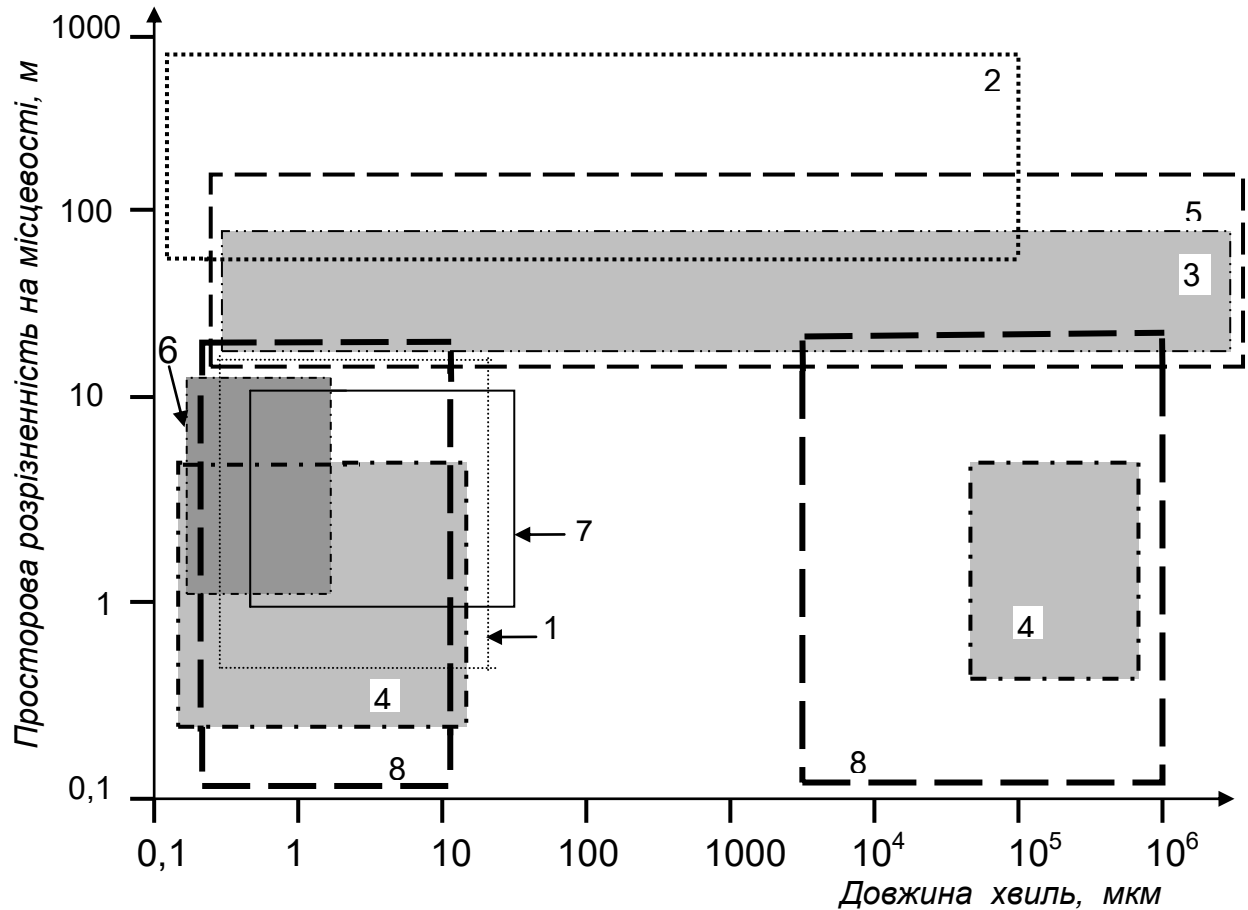


Рис.2.1 Схема розподілу тематичних завдань ДЗЗ

Україна ще від радянських часів брала безпосередню участь у космічних проектах, і впродовж останнього десятиріччя її космічний потенціал навіть зріс. Дистанційні методи досліджень в Україні використовуються з початку 60-х років різними відомствами: Держкомгеології, Академії наук, Держкомгідромету, Держкомводгоспу, Мінсільгоспу, Міносвіти тощо. Прийнята у 2002 році Загальнодержавна (Національна) космічна програма на 2003-2007 рр. визначає основні цілі, завдання, пріоритети й шляхи здійснення космічної діяльності в Україні на зазначений період. Серед основних завдань Програми – подальший розвиток державної системи спостереження Землі з космосу в інтересах національної безпеки й оборони та виконання актуальних народногосподарських завдань.

Виконання космічної програми має сприяти подальшому розвитку космічної програми України, хоча це і не є основним. Головна мета – пошук, розроблення й обґрунтування нових методів застосування даних космічного зондування Землі для підвищення ефективності виконання завдань, що стоять перед суспільством у галузях промисловості, сільського господарства, науки, оборони тощо.

Виконання будь-якого завдання з використанням дистанційних методів пов'язане з вибором джерела просторових даних або знімків, що формуються сучасними космічними системами. Нині існує безліч джерел космічної інформації, які відрізняються якістю, точністю, оперативністю (доступністю) й вартістю надаваної інформації.

Основні прикладні завдання, що їх розв'язують в Україні за допомогою технології ДЗЗ, такі [14]:

в геології – регіональні геологічні дослідження, картографування геологічних структур, оцінка динаміки геологічних процесів, прогнозування родовищ корисних копалин, контроль нафто- і газопроводів, пошуки геотермальних джерел тощо;

в екології – природоохоронне районування і картографування, розробка заходів з охорони та раціонального використання природних ресурсів, моніторинг навколишнього середовища;

в гідрометеорології – прогнозування погоди, термічне зондування атмосфери, визначення характеристик газового складу атмосфери, визначення запасів води, розрахунок і прогнозування стоку, вивчення водообміну, визначення рівня забруднення гідросфери;

у сільському й лісовому господарстві – прогнозування врожайності, оцінка стану посівів і кормових угідь, моніторинг меліоративних систем оцінка та інвентаризація лісових ресурсів, планування рекреаційних, ґрунто- і водозахисних лісонасаджень та контроль за їхнім станом, моніторинг та визначення наслідків пожеж та повені;

у геодезії та картографії – складання та оновлення карт різних масштабів, створення геоінформаційних систем, ведення кадастру.

Відомий вислів “значне бачиться на відстані” особливо доречний по відношенню до досліджень геологічних структур з Землі з космосу з ціллю вивчення природних ресурсів Землі.

Основним міжнародним консультативним органом для обміну інформацією, координації та обговорення політики в області ДЗЗ є створений в 1984 році Комітет по супутниках дистанційного зондування Землі CEOS (Committee on Earth Observation Satellites).

## **2.2. Загальна класифікація об'єктів космічної розвідки та спостереження**

Під об'єктами космічної розвідки і спостереження (КРС) слід розуміти визначені сили і засоби противника, його інженерні споруди, місцеві предмети, що мають розміри, фізичне поле, організаційну структуру й інші властиві їм властивості і якості.

При визначенні об'єктів розвідки враховуються можливості засобів ураження щодо їх знищення, а також можливості засобів розвідки по їх виявленню.

У залежності від ролі зазначених об'єктів у воєнних діях, їх можна поділити, з урахуванням досвіду сучасних локальних воєн і збройних конфліктів, на оперативні і тактичні [35-42].

До об'єктів оперативного призначення можна віднести: підрозділи (батареї) крилатих і оперативно-тактичних ракет; кораблі з ядерною зброєю на борту; аеродроми базування літаків-носіїв тактичної авіації, склади (пункти постачання) ядерних боєприпасів; авіаційні ескадрильї (полки) бойової і

транспортної авіації; пункти управління діями об'єктів оперативного призначення; аеродроми базування і маневру тактичної авіації; важливі мости, греблі, переправи через великі перешкоди; залізничні вузли; морські бази, порти й ін [106, 125, 126, 128, 130].

До об'єктів тактичного значення відносяться: пускові установки ракет оперативно-тактичного і тактичного призначення; пункти постачання (збереження) ядерних боєприпасів; підрозділи сухопутних військ; підрозділи армійської авіації; одиночні надводні кораблі; пункти управління діями об'єктів тактичного призначення та елементи пунктів управління вищестоящих штабів [106, 125, 126, 128, 130].

У конкретних умовах обстановки кількість об'єктів розвідки і їх розташування по глибині можуть змінюватися в ту чи іншу сторону в залежності від складу військ противника і характеру бойових дій, однак зазначена закономірність їх розташування зберігається.

Чітка класифікація об'єктів КРС полегшить планування, виконання розрахунків на застосування її засобів, постановку задач, збір, обробку і представлення розвідувальних даних у стислий термін.

В інтересах рішення задач КРС об'єкти можна поділити за наступними основними ознаками: призначенню, ступеню важливості, ступеню складності, розмірам займаної площі, ступеню рухливості, розташуванню щодо поверхні землі, ступеню маскуванню та частоті розкриття.

За призначенням об'єкти розвідки можна умовно розділити на наступні основні групи [45, 46]:

- ракетно-ядерні засоби різного призначення;
- аеродроми й авіація, що базується на них;
- засобу протиповітряної і протиракетної оборони;
- сухопутні війська, їх бойова і транспортна техніка;
- військово-морські об'єкти (бази, порти, кораблі в базах і на морі);
- пункти і засоби управління військами і зброєю;

- оборонні рубежі і спорудження;
- склади;
- залізничні об'єкти;
- військово-промислові об'єкти;
- місцевість.

Об'єкти зазначених груп можна поділити на види, класи, підкласи і типи.

Вид – категорія класифікації, що поєднує родинну техніку, що відноситься, як правило, до одного виду збройних сил чи роду військ, наприклад: ракети, бойова техніка сухопутних військ, авіаційна техніка, автотранспортна техніка, інженерно-будівельна техніка й ін.

Клас поєднує техніку з однаковою назвою, наприклад: танки, бомбардувальники, артилерія і т.п.

Підклас поєднує техніку з близькими тактико-технічними даними і розмірами, наприклад: важкі транспортні літаки, великі машини, що плавають, і т.д.

Тип – категорія класифікації, що позначає найменування, наприклад: літак F-16, МіГ-23 та ін.

До важливих об'єктів слід відносити такі об'єкти, ураження яких призводить до значного зниження бойової здатності противника. До них відносяться війська і бойова техніка, органи управління й об'єкти інфраструктури (заводи, склади, вузли комунікацій і ін.).

Першочерговими є ті важливі об'єкти, які у найкоротший час можуть здійснити вплив по наших військах і об'єктах тилу. До першочергових об'єктів відносяться центри управління військами і зброєю (наземні і повітряні пункти управління), розвідувально-ударні комплекси (РУК), системи ядерної зброї (аеродроми літаків-носіїв і ін.), засоби масового ураження і засоби їх доставки.

За ступенем складності всі об'єкти можна підрозділити на прості і складні. До простих відносяться об'єкти, що виконують, як правило, одну функцію і володіють порівняно невеликими розмірами (пускові установки, літаки, танки).

Складні об'єкти складаються із сукупності однакових чи різнорідних простих об'єктів з однаковими чи різними, але взаємозалежними функціями. Складні об'єкти можуть займати значну за розмірами площу. До них відносяться: стартові позиції, пункти управління, аеродроми, порти, оборонні рубежі, військові частини, підрозділи з їх бойовою і транспортною технікою.

За розмірами займаної площі об'єкти КРС варто підрозділяти на малорозмірні, середні і великі.

До малорозмірних об'єктів відносяться зразки бойовий і автотранспортний техніки та інженерні споруди для неї, а також об'єкти, взаємозалежні між собою і розташовуються на такій площі, як, наприклад, позиція радіолокаційної станції.

Об'єкти середніх розмірів складаються, як правило, з декількох малорозмірних, більш простих об'єктів. До них можна віднести, наприклад, загоны крилатих ракет наземного базування.

До об'єктів великих розмірів можна віднести, наприклад, райони зосередження частин і з'єднань, позиційні райони батарей і дивізіонів керованих ракет (КР) оперативного призначення, аеродроми, військово-морські бази і т.п.

За ступенем рухливості об'єкти КРС можна підрозділити на стаціонарні, малорухомі і рухливі.

Стаціонарні об'єкти (аеродроми, морські бази і порти, військово-промислові об'єкти й ін.) не змінюють свого місця розташування з часом.

Малорухомі об'єкти порівняно рідко змінюють своє місце розташування (командні пункти оперативних об'єднань, пункти управління засобами поразки й ін.) Вони розташовуються, як правило, у польових укриттях чи стаціонарних приміщеннях.

Рухливі об'єкти часто змінюють своє місце розташування в ході бойових дій, їх устаткування, як правило, знаходиться й експлуатується на ходовій

частині різних транспортних засобів. До таких об'єктів варто віднести частини і з'єднання сухопутних військ, ВМС, підрозділи і частини КР і ін.

По розташуванню щодо поверхні землі об'єкти КРС можна розділити на наземні, напівпідземні (заглиблені) і підземні.

За ступенем маскуванія об'єкти поділяються на незамасковані і замасковані.

Для виявлення і впізнання об'єктів розвідки необхідно використовувати наступні пізнавальні ознаки: форма, розміри, тон (колір і яскравість), тінь, відносне (взаємне розташування) об'єктів на місцевості, функціональна діяльність і сліди діяльності.

Форми, розміри, тон є ознаками постійними, властивими завжди і всім без винятку об'єктам. Тому їх прийнято називати прямими пізнавальними ознаками.

Тінь, відносне (взаємне) розташування об'єктів на місцевості, діяльність і сліди діяльності не належать самому об'єкту, а лише тісно зв'язані з ним і супроводжують йому за певних умов.

Пізнавальні ознаки взаємно зв'язані й обумовлюють один одного. Об'єкти КРС розпізнаються по сукупності пізнавальних ознак їхніх зображень на фотознімках, телевізійних знімках і цифрових знімках.

### **2.3. Вимоги, що висуваються до засобів космічного спостереження**

Виходячи з важливості задач космічної розвідки в сучасних операціях, до неї пред'являються високі вимоги. Основними з них є: цілеспрямованість, безперервність, активність, своєчасність і оперативність, скритність, вірогідність і точність визначення координат об'єктів, що розвідуються, (цілей).

**Цілеспрямованість** космічної розвідки і ДЗЗ буде полягати в підпорядкуванні всіх заходів інтересам виконання бойових задач і в

зосередженні зусиль на розкриття важливих об'єктів, що є першочерговими метами для нанесення ударів своїми військами.

Ведення бойових дій у розосереджених бойових порядках, збільшення кількості об'єктів, що підлягають розвідці, а також підвищення ступеня деталізації в зборі розвідувальних зведень привели в цілому до значного росту кількості задач космічної розвідки, діапазон важливості яких різко коливається. У цих умовах тільки цілеспрямованість в організації і веденні розвідки зможе забезпечити виконання найважливіших задач, що коштують перед нею, досягнення якої можливо шляхом правильного визначення об'єктів, районів і задач розвідки на основі глибокого знання обстановки і передбаченням її змін, виходячи з задач, поставлених перед військами.

Цілеспрямованість  $C$  залежить від ряду зовнішніх і внутрішніх змінних

$$C = f(TR, A, B, P, U, D, E, F) \quad , \quad (2.1)$$

де  $TR$  – висунуті вимоги (кількісні і якісні);

$A$  – пріоритети задач КРС;

$U$  – загальна кількість заданих для рішення задач КРС;

$P$  – виділений ресурс на період ведення розвідки;

$U$  – умови ведення розвідки (метеоумови, можливості противника по протидії, тип проведеної операції);

$D$  – можливості технічних засобів розвідки (лінійна розрізненність на місцевості, спектральний діапазон, ширина поперечного захоплення на місцевості);

$E$  – стан КА розвідки і ДЗЗ (кількість, коефіцієнт бойової готовності);

$K$  – рівень підготовки фахівців;

$F$  – необхідна частота спостереження за об'єктом КРС.

**Безперервність** космічної розвідки і ДЗЗ – це постійне їх ведення як у мирний, так і у воєнний час при підготовці й у ході бойових дій, в усіх видах бойової діяльності військ (сил), вдень і вночі, у будь-яких умовах обстановки, місцевості, погоди.

Безперервність  $H$  можна описати в загальному вигляді як функцію сукупності параметрів:

$$H = f(TR, A, B, P, U, D, E, F). \quad (2.2)$$

**Активність** космічної розвідки і ДЗЗ повинна полягати в наполегливому прагненні в будь-яких умовах бойової обстановки і всіх можливих способів добути необхідні розвідувальні зведення.

На активність  $AK$  ведення розвідки будуть впливати різні фактори:

$$AK = f(TR, A, B, P, U, D, E, F). \quad (2.3)$$

**Своєчасність і оперативність** – важливі і неодмінні вимоги до космічної розвідки і ДЗЗ.

Під своєчасністю космічної розвідки слід розуміти такий час добування і проходження даних про противника, що забезпечує зацікавленим штабам і командирам необхідний час для проведення заходів щодо зриву задуму противника, при якому гарантується ураження виявлених об'єктів до того, як вони зможуть вплинути на війська

$$\sum_{i=1}^n T_i \leq T^{(D)}, \quad (2.4)$$

де  $T_i$  – тривалість  $i$ -го етапу виконання задачі розвідки заданого об'єкта;

$n$  – кількість етапів;

$T^{(D)}$  – директивний (заданий) час виконання задачі розвідки.

Своєчасність  $CB$  є функцією ряду параметрів

$$CB = f(TR, A, B, P, U, D, E, F). \quad (2.5)$$

Необхідність високої оперативності космічної розвідки і ДЗЗ обумовлюється насамперед тим, що гостра боротьба за виграш часу, маневрений характер бойових дій і можливість різких змін в обстановці викликає необхідність максимального скорочення термінів не тільки добування даних, але й обробки, оцінки і доведення їх до відповідних командирів, штабів і військ.

Вимога оперативності описується наступним чином

$$\sum_{i=1}^n T_i < T^{(D)}. \quad (2.6)$$

Оперативність *Опер.* можна функціонально представити в наступному вигляді

$$Опер. = f(TR, A, B, P, U, D, E, F). \quad (2.7)$$

**Прихованість** космічної розвідки і ДЗЗ – це вимога до збереження в таємниці заходів щодо розвідки і спостереження, дезінформації противника щодо розташування і характеру дій їхніх сил і засобів, напрямку зосередження їхніх основних зусиль.

У даний час існують способи і засоби спостереження за функціональною діяльністю супутників розвідки і ДЗЗ. Тому будь-які зміни в частоті, інтенсивності, щільності прольотів космічними засобами розвідки і ДЗЗ зон

цільового застосування, складу й орбітальної побудови їх угруповань інтерпретуються як демаскуючі ознаки, що, відповідно, знижує скритність розвідувальних заходів.

Функціонально скритність  $СК$  можна описати аналогічно (2.7)

$$СК = f(TR, A, B, P, U, D, E, F). \quad (2.8)$$

Вірогідність розвідувальних даних і точність визначення координат об'єктів, що розвідуються, (цілей) є одними з найважливіших вимог до розвідки і ДЗЗ.

**Вірогідність  $D$**  космічної розвідки і ДЗЗ полягає у відповідності добуваються нею даних щирому положенню військ і об'єктів [48]

$$D = K_p / K_o, \quad (2.9)$$

де  $K_p$  - правильно розпізнані елементи об'єкта розвідки;

$K_o$  - загальна кількість розпізнаних елементів об'єкта розвідки.

Вірогідність  $D$  функціонально залежить від ряду складових зовнішнього і внутрішнього середовища

$$D = f(TR, A, B, P, U, D, E, F). \quad (2.10)$$

**Точність визначення координат об'єктів, що розвідуються (цілей),** полягає у встановленні їхнього місця розташування з мінімально припустимими помилками для забезпечення ефективного застосування засобів поразки.

Зокрема, необхідна точність визначення координат в інтересах ударів високоточної зброї складає порядку 8-10 м, ракет оперативно-тактичного

призначення складає 40-80 м, звичайних вогневих засобів – близько 50 м, винищувально-бомбардувальної авіації – 100 – 150 м [35-42].

Точність визначення координат  $TK$  об'єкта КРС може бути кількісно описана наступним виразом [48]

$$TK = 1 - \Delta r_p / \Delta r_t, \quad (2.11)$$

де  $\Delta r_p$  - реальна похибка визначення координат об'єкта КРС;

$\Delta r_t$  - необхідна точність визначення координат об'єкта ( $\Delta r_t > \Delta r_p$ ).

Функціонально точність визначення координат  $TK$  залежить від тих же факторів, що і вірогідність

$$TK = f(TR, A, B, P, U, D, E, F). \quad (2.12)$$

#### **2.4. Технічні вимоги до космічних систем спостереження**

До космічних систем спостереження з метою вирішення задач дослідження природних ресурсів Землі пред'являється ряд технічних вимог щодо просторової розрізненості на місцевості, періодичності зйомки, діапазону зйомки, геометричної точності і масштабу з'йомки (табл.2.1).

Космічна розвідка є в даний час одним з головних джерел одержання своєчасної і достовірної інформації, необхідної для забезпечення безпеки США, Росії, Франції, Китаю, Японії, Ізраїлю і ряду інших країн.

**Технічні вимоги до систем КС для дослідження природних ресурсів Землі**

Область Застосування	R, м	Періодичність	Довжини хвиль, мкм	Геометр. точність	Використ. масштаби
Геологія Пошук родовищ	10-30		Панхроматичні; 0,4-1,1; 1,55 - -1,67; 2,1-2,3; 10-12; SAR	± 1 піксель	1:50000 1:100000 1:250000
Ґрунтознавство	30	2-4 рази у рік	0,4-1,1; 1,55 - -1,7; 10-12; SAR		1:50000 до 1:200000
Інвентаризація сільського господарства Оцінка врожаю	10-30	Через 7-9 доби цілий рік	Панхроматичні; 0,4-1,1; 1,55 - -1,7; 10-12; SAR	± 1 піксель	1:100000 1:250000 1:100000 1:50000
Інвентаризація лісового господарства	10-30	4-10 разів у рік	Панхроматичні; 0,4-1,1; 1,55 - -1,7; 10-12; SAR	± 1 піксель	1:100000
Гідрологія	30-60	Залежно від задачі	0,3-0,9; 10-12	± 1 піксель	1:100000 1:250000
Землекористування	30-100 20-30	4 рази за період вегетації	Панхроматичні канали	± 1 піксель	1:250000 1:50000
Планування міст Планування Районів	10 10-30	1 раз у рік 2-4 рази за рік	0,4-1,1; 10-12; SAR		1:25000 1:50000
Океанографія Спостереження льодів Навігація вздовж узбереж	500-1000 10-100	2 рази в добу	0,3- 0,9; 10-12; SAR+альтиметр, скаттерометр, пасивна мікрорадіометрія	± 2 пікселя	1:500000 до 1:100000

Для вирішення військових завдань до супутників видової розвідки пред'являються високі вимоги щодо просторової розрізненності на місцевості (див. табл.2.2). Це обумовлюється, по-перше, розмірами військових об'єктів, по-друге, необхідністю конкуренції з просторовою розрізненністю на місцевості зображень, отриманих за допомогою засобів повітряної розвідки.

Враховуючи те, що під час військових операцій у зоні Перської затоці розвідувальні КА вирішували у значній мірі завдання оперативно-тактичної

розвідки, ніж стратегічної, необхідною вимогою до зображень, які отримувались, є розміри масштабів зображень, що наведені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.2

**Просторова розрізненність, необхідна для інтерпретації об'єктів, м**

Об'єкти аерокосмічної розвідки	Необхідна лінійна розрізненність, м				
	Виявлен ня	Розпізнавання			Аналіз стану
		вид	клас	тип	
Ракетні комплекси	3,0	1,5	0,6	0,3	0,075
Аеродроми	6,0	4,5	3,0	0,3	0,150
Літальні апарати	4,5	1,5	0,9	0,15	0,025
Бойова і транспортна техніка	1,5	0,5	0,3	0,05	0,025
Артилерійські системи	0,9	0,6	0,15	0,05	0,015
Військові підрозділи	6,0	2,1	1,2	0,3	0,075
Штаби і пункти управління	1,5	0,9	0,3	0,15	0,025
РЛС, РЛП	3,0	0,9	0,3	0,15	0,015
Морські порти	30,0	15,0	6,0	3,0	0,3
Кораблі	7,5	4,5	0,6	0,3	0,03
Залізничні станції	30,0	15,0	6,0	1,5	0,6
Промислові підприємства	3,0	0,6	0,3	0,15	0,025
Склади	1,5	0,6	0,3	0,025	0,025
Населені пункти	60,0	6,0	3,0	3,0	0,3
Дороги	9,0	6,0	1,8	0,15	0,025
Мости, переправи	6,0	4,5	1,5	0,9	0,3

Перспективним напрямком в області аерокосмічної розвідки є створення і використання для ведення розвідки малих космічних апаратів із застосуванням оптико-електронних, фотографічних, радіо- і радіотехнічних засобів, що дозволить більш ефективно вести оперативно-тактичну розвідку противника.

У той же час, використання космічних знімків, одержуваних за допомогою цивільних ШСЗ “Landsat” (США), “SPOT” (Франція) чи “Ресурс” (Росія), дозволяє в мирний час виявляти і класифікувати об'єкти військового призначення.

У таблиці 2.4 наведено перелік об'єктів, що можуть бути розкриті по космічних знімках, що надходять у продаж. У ній зазначено джерела одержання знімків, по яких були виявлені, ідентифіковані і вивчені ці об'єкти. У таблиці

використані наступні позначення: Р - панхроматичний сканер КА “SPOT”; КФА - космічний фотоапарат КФА-1000 КА “Ресурс”; MSS - багатоспектральний сканер КА “Landsat”; ТМ - тематичний картограф КА “Landsat”; XS - багатоспектральний сканер КА “SPOT”.

Таблиця 2.3

**Рекомендовані масштаби для дешифрування військових об'єктів**

№ п/п	Об'єкти і цілі Розвідки	Масштаб зображення
1	Оборона (у тому числі берегова): - виявлення наявності і загальної схеми оборони; - визначення типу оборонних споруд	1:15000 1:6000
2	Війська: - виявлення районів зосередження військ; - визначення наявності і напрямку руху військ; - визначення типу матеріальної частини	1:10000 1:15000 1:6000
3	Аеродроми: - стаціонарний; - польовий; - визначення типів літаків (вертольотів)	1:30000 1:20000 1:10000
4	Стартові позиції ракет, РЯС	1:4000
5	РЛС, РЛП	1:5000
6	Ж.д. станції і перегони: - установлення наявності; - визначення типів і кількості рухомого складу	1:20000 1:15000
7	КП, ЗКП, ЦУО, ПУО, ЦУВ, ПУВ	1:5000
8	Склади	1:15000
9	Місцевість: - детальне вивчення; - загальне ознайомлення	1:10000 1:40000
10	Військово-промислові об'єкти	1:25000
11	ЗРК, ЗА: - стаціонарні; - польові	1:20000 1:8000
12	Мости і переправи	1:15000
13	Військово-морські бази, порти	1:20000
14	Бойові кораблі, транспортні судна	1:10000

За результатами досліджень, проведених незалежними експертами, можна зробити висновок про доцільність використання цих знімків для спостереження за військовою діяльністю суміжних з Україною держав у

мирний час, а також для перевірки дотримання угод по контролю над озброєнням паралельно програмі “Відкрите небо”.

Важливою технічною вимогою до видових засобів космічних систем спостереження у теперішній час є забезпечення стереоскопічності зйомки, що дозволяє підвищити імовірність розкриття цілей, особливо у випадку їх часткового маскуванню. Це забезпечується за рахунок використання при дешифруванні вертикального розміру об'єкта розвідки.

Таблиця 2.4

### Перелік об'єктів та апаратури КС

Найменування об'єктів	Рівень спостереження за допомогою космічної апаратури		
	Виявлення	Загальне розпізнавання	Визначення кількісних характеристик
Літаки	Р	Р	Р/КФА
Аеродромні споруди	MSS	TM	Р/КФА
Мости	MSS	TM/XS	XS/Р/КФА
Головні командні пункти	MSS	TM/Р	Р/КФА
Позиції ракет ПВО	MSS	MSS/TM	Р
РЛС	Р	Р	-
Залізниці	MSS	Р	КФА
Дороги автомобільні	MSS	MSS	TM/XS/Р/ КФА
Укриття й артилерійські Установки	MSS/TM	XS/Р	-
Склади	MSS	Р	Р
Надводні кораблі	XS	XS	Р
ПЧ у надводному положенні	TM	XS/Р	Р
Транспортні засоби	КФА	-	-

Як відзначали американські фахівці, знімки, отримані за допомогою французького КА “SPOT”, знайшли широке застосування у військах під час війни проти Іраку завдяки високій просторовій розрізненості, а також можливості формування стереоскопічного зображення місцевості.

Світовий досвід показує, що стереоскопічне дешифрування підвищує імовірність правильного дешифрування об'єктів розвідки.

Наявність у складі космічних систем спостереження багатоспектрального чи багатозонального сканера дозволяє успішно вирішувати задачі космічної розвідки по виявленню і розпізнаванню об'єктів розвідки, невидимих у видимому діапазоні довжин хвиль і в умовах атмосферної хмарності.

Масогабаритні показники є в більшому ступені технологічною характеристикою і відіграють не останню роль в умовах комплексного застосування засобів систем КС. Більш того, розроблена на Заході у теперішній час концепція низькоорбітальних малих супутників для вирішення задач оперативного (бойового) забезпечення, базується на розробці малогабаритних супутників на основі використання новітніх технологій. Це, у свою чергу, автоматично вимагає зниження масогабаритних характеристик розвідувальних засобів.

### 3. ФІЗИЧНІ ПРИНЦИПИ ДІЇ КОСМІЧНИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

#### 3.1. Космічний простір, як сфера застосування космічних засобів

Планета Земля входить до складу Сонячної системи, яка являє собою систему небесних тіл, що рухаються в області переважного впливу гравітаційного поля Сонця. Сонячна система складається з центрального тіла – Сонця, 9 великих планет та їх 34 супутників, а також великої кількості астероїдів, комет, метеорних тіл і міжпланетного пилу [2].

Земля – третя від Сонця планета, яка рухається навколо нього по орбіті, що близька за формою до колової, з радіусом приблизно  $149,6 \cdot 10^6$  км. Період обертання Землі навколо Сонця – рік, який дорівнює 365,25 сонячних діб. Площина екліптики (площина, в якій здійснюється рух планет Сонячної системи навколо Сонця) нахилена до площини екватора Землі під кутом  $23,5^{\circ}$ . Період обертання Землі навколо власної осі в площині екватора складає 23 години 56 хвилин [2].

Земля має форму еліпсоїда, що сплющений зі сторін полюсів. Найбільш вдало форма Землі, що відповідає поверхні Євразії, описана радянським вченим Ф. М. Красовським. Тому в нашій країні використовується модель Землі у вигляді еліпсоїда Красовського. Середній радіус Землі  $R_z = 6371,1$  км, радіус екватора –  $R_{ЕКВ} = 6378,2$  км, а розмір полярної півосі – 6356,8 км. Маса всієї Землі складає близько  $5,98 \cdot 10^{24}$  кг [2].

Атмосфера Землі – газоподібна оболонка земної кулі масою  $5,27 \cdot 10^{18}$  кг, складає менше одної мільйонної частки маси Землі. Основу сухої атмосфери складають азот (78% об'єму) та кисень (21% об'єму). Аргон, неон, водень, озон та інші гази сумарно складають менше 1% загального об'єму атмосфери Землі.

В атмосфері розділяють декілька шарів. Нижній шар Земної атмосфери товщиною до 10-18 км називається тропосферою. Другий шар до висоти 70-80 км називається стратосферою. Шар атмосфери над стратосферою до висоти 500-1000 км називається екзосферою, або пластом розсіювання. Екзосфера поступово переходить в навколоземний космічний простір [2].

Основними факторами, що характеризують космічний простір і впливають на функціонування космічних апаратів, є невагомість, вакуум, низькі температури, космічні об'єкти штучного та природного походження, магнітні поля і радіація [2, 3].

Невагомість – це стан матеріального тіла, коли діючий на нього результуючий вектор сил інерції та гравітації дорівнює нулю, що аналогічно відсутності маси цього тіла. Ці обставини виключають можливість використання сили ваги у конструкціях космічних апаратів та їх приладів, ускладнюють систему подання палива та пуску двигунів, потребують спеціальних заходів для розподілу рідкої та газової фаз у системах, що пов'язані з рідиною.

Атмосфера, як газовий шар навколо Землі, швидко зменшує свою густину та тиск з висотою, причому вночі значно швидше аніж вдень. Абсолютного вакууму, тобто середовища, в якому не має нічого, просто не існує. Навіть у міжпланетному просторі густина середовища досягає  $10^{-20}$ – $10^{-21}$  кг/м<sup>3</sup>. Умовно вважають, що величина космічного вакууму має тиск  $10^{-14}$  Па. Але й цю величину неможливо отримати на Землі в барокамерах. В них можна досягти величини тиску  $10^{-4}$  Па, що відповідає висоті 330 км над Землею [3].

Вплив космічного вакууму проявляється в змінах умов дії факторів зовнішнього середовища, теплообміну космічного апарата із середовищем, сублімації (випарювання) матеріалів (особливо рідинних). На малих висотах навколо космічного апарату існує хмарка з цих випарених частинок. Навіть випарювання металів з поверхні у космосі досягає величини  $0,6$ – $0,8 \cdot 10^{-6}$  мм/с. З випарених частинок значна їх частка повертається до космічного апарата,

забруднюючи оптику та сонячні батареї. Зі збільшенням висоти цей процес зменшується. Вже на висоті 1000 км до космічного апарата повертається тільки  $10^{-6}$  відсотка випарених частинок.

Випарювання мастил з рухомих деталей зовнішніх механізмів призводить до сухого тертя, погіршення умов роботи вузлів механізмів. Чисті поверхні металів при контакті зазнають інтенсивної дифузії, тобто холодного зварювання. Металеві покриття (срібло, кобальт, нікель), нанесені на поверхні тонким шаром, зменшують коефіцієнт тертя: вони використовуються як мастила. Добрий ефект дає використання фторопласту.

У космосі відбувається перерозподіл ефективності факторів ураження при вибухах як ядерної, так і звичайної вибухової речовини. У вакуумі відсутня ударна хвиля, але збільшується радіус поразки осколками бойової частини та рентгенівським випромінюванням. Поліпшуються умови використання зброї на нових фізичних принципах: лазерна, електромагнітна зброя.

Відсутність атмосфери призводить до відсутності конвекційного теплообміну, а це, в свою чергу, призводить до необхідності створювати складні системи відведення зайвого тепла, а з другого боку, до необхідності терморегулювання роботи деяких приладів. Крім цього, робота космічного апарата проходить в умовах польоту, коли деякий час космічний апарат освітлений сонячним промінням і його корпус нагрівається до  $+120^{\circ}\text{C}$ , а на тіньовому боці або в тіні Землі його температура знижується до  $-70^{\circ}\text{C}$  [3].

Необхідний тепловий режим підтримується активними та пасивними засобами системи терморегуляції. До активних відносять відвід тепла за межі космічного апарата за допомогою газових або рідинних теплоносіїв, а для усунення охолодження забезпечується підігрів. До пасивних засобів відносять поглинання тепла елементами конструкції, компонентами палива космічного апарата, теплоізоляцію космічного апарата, застосування екранів від сонячної радіації і та ін.

При низьких температурах деякі матеріали стають холодноламкими. Тому при будівництві космічних апаратів застосовують матеріали та сплави, спроможні працювати при низьких температурах: нікель, алюміній, мідь, їх сплави, деякі марки нержавіючої сталі, фторопласт.

Значну небезпеку для космічних апаратів складають космічні об'єкти природного та штучного походження. На даний час зареєстровано біля 9 тисяч штучних космічних об'єктів середніх та великих розмірів (космічні апарати та фрагменти їх запуску) і декілька десятків тисяч космічних об'єктів невеликого (менше 0,2 м) розміру. Переважна більшість цих штучних космічних об'єктів знаходиться на висотах 350-1250 км де функціонує значна частина космічних апаратів різного призначення, а тому існує потреба врахування небезпеки їх зіткнення при плануванні запусків.

Космічні об'єкти природного походження (метеорна речовина) – тіла розміром від космічного пилу до десятків кілометрів. Метеори доходять до Землі з міжпланетного або міжзіркового простору, мають значну швидкість і, отже, запас кінетичної енергії (наприклад, так званий “Тунгуський метеорит”).

Іноді навколо Землі проходять мільярди метеорів (“метеорні дощі”). Підраховано, що середня добова маса тільки падаючих на поверхню Землі метеорів досягає 10 тон. Прилади на дослідницьких космічних апаратах фіксують до 170-200 ударів дрібних метеорів на 1 м<sup>2</sup> поверхні за добу. Під час “метеорних дощів” ця цифра збільшується у сотні разів. Зіткнення з великими метеорами дуже небезпечне але малоімовірне, а ось від ударів дрібних метеорів інженери вимушені шукати способи захисту, бо таке постійне “бомбардування” пошкоджує перш за все сонячні батареї та оптичні прилади.

У космічному просторі на матеріали і людину також впливають космічна радіація, сонячна радіація та радіаційні пояси Землі. Із космічного простору постійно з густиною 10<sup>2</sup> частинок на см<sup>3</sup> у напрямку до Землі летять так звані “космічні промені”. Вони ідуть від інших зірок та галактик, мають швидкість,

близьку до швидкості світла. У космічних променях переважають протони (до 90 %) та інші елементарні частинки: електрони, позитрони, мезони, нейтрино

Крім цього, Сонце є постійним джерелом потоку заряджених частинок (електронів, протонів, іонів), які зветься “сонячним вітром”. У звичайні дні (спокійне Сонце) цей потік має швидкість до 500 км/с, а його густина досягає  $10^2$  частинок на  $\text{см}^3$ . При активному Сонці (сонячні спалахи) число частинок збільшується у десятки разів, а їх швидкість сягає 1600 км/с і навіть більше.

Магнітне поле Землі є перепорою для “сонячного вітру”. На відстані 70-80 тис. км від поверхні Землі, де енергія “сонячного вітру” зрівнюється з енергією магнітного поля Землі, частинки “сонячного вітру” змінюють напрям свого руху, обтікають область навколо Землі, яка має назву – магнітосфера Землі. Перед магнітосферою, як перед тілом, яке рухається зі швидкістю більшою, ніж швидкість звуку, створюється ударна хвиля [2].

Магнітосфера має складну структуру, її розмір залежить від тиску “сонячного вітру”. Плазма “сонячного вітру” проникає усередину магнітосфери через її довгий магнітний шлейф, або хвіст, та через невеликі області біля полюсів. При цьому у високих широтах виникає таке явище, як полярні сяйва. Потужні електричні струми у хвості магнітосфери (мільйони ампер) втікають вздовж магнітних силових ліній в іоносферу Землі, викликаючи флуктуації частинок в іоносфері, що призводить до порушення радіозв'язку, виникнення шумів у телефонних мережах, відбиття радіохвиль.

Небезпеку для ліній електропостачання, проводових мереж зв'язку, газо- та нафтопроводів можуть спричинити сильні струми, які виникають при швидких змінах магнітного поля. Наприклад, у 1989 р. через це більше мільйона людей у Канадській провінції Квебек залишилися без світла. Такі випадки були і на Кольському півострові. Для нафтопроводів наведений електричний струм, замикаючись на Землю, збільшує корозію, викликає іскру, яка може призвести до вибуху.

Сумарна доза радіації від космічних випромінювань у космосі порівняно невелика: до  $10 \text{ мР}$  за добу. Вона збільшується у дні сонячної активності. Але основну радіаційну небезпеку створюють так звані радіаційні пояси Землі [3].

Радіаційні пояси – це області космічного простору, де розташовані заряджені частинки космічних променів та “сонячного вітру” захоплені магнітним полем Землі. Умовно радіаційні пояси поділяються на внутрішній ( $h = 600\text{-}6000 \text{ км}$ , нахилення  $i = \pm 45^\circ$  від площини магнітного меридіана) та зовнішній ( $h = 6000\text{-}50000 \text{ км}$ ,  $i = \pm 60^\circ$  від площини магнітного меридіана). Радіаційні пояси займають внутрішні області магнітосфери, в так званій зоні стійкого захоплення, де існують замкнуті магнітні силові лінії. Радіація, захоплена у зоні внутрішнього радіаційного поясу, майже постійна, досягає  $120 \text{ Р}$  за добу, обумовлена протонами значних енергій  $> 30 \text{ MeV}$ . Максимум радіації приходить на висоти  $800\text{-}4000 \text{ км}$ . Область зовнішнього поясу Землі обумовлена захопленням електронів “сонячного вітру”, а тому має значні часові варіації інтенсивності та розташування у просторі. Максимум потоку зовнішнього радіаційного поясу знаходиться на висотах  $25\text{-}30 \text{ тис. км}$ , густина потоку електронів досягає до  $10^8$  частинок на  $\text{см}^3$ .

Радіаційне випромінювання впливає на напівпровідникові деталі (транзистори, фотоелектричні перетворювачі, сонячні батареї та ін.) і виробу із органічних з’єднань. Особливі заходи потрібні для захисту космонавтів під час довготривалого польоту.

Таким чином, виникає необхідність спостереження за “космічною погодою”, а її прогнозування не менш потрібне для космонавтики, ніж прогноз погоди на Землі для діяльності людей.

Як бачимо, негативний вплив космічного простору на космічний апарат та його системи потребує врахування цих факторів під час конструювання, експлуатації космічних систем та управління ними.

Зв’язок космічного апарата із Землею під час його функціонування та управління ним здійснюється різними радіосистемами. Крім цього, виконання

космічним апаратом своїх завдань, пов'язаних з дистанційним зондуванням поверхні Землі та повітряного простору, потребує також проходження в цьому напрямку випромінювання певної довжини хвилі.

Внаслідок того, що на шляху розповсюдження випромінювання “КА ↔ поверхня Землі” розташований повітряний шар та іоносфера, деякі довжини хвиль поглинаються ними, і для практичного використання залишається обмежений діапазон випромінювання: в загальному випадку від короткохвильового до ультрафіолетового діапазону випромінювань.

Умовно діапазон випромінювання електромагнітного походження, який відомий сучасній науці та з яким стикається людство, лежить у достатньо широкому спектрі від  $10^4$  до  $10^{27}$  Гц (табл. 3.1) [3]. Але на практиці у космонавтиці використовується лише достатньо вузька смуга частот від короткохвильового до ультрафіолетового діапазону.

Таблиця 3.1.

### Діапазони електромагнітного спектру

Назва діапазону	Довжина хвилі	Діапазон частот, Гц
Наддовгий	100-10 км	$3 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^4$
Довгий	10-1 км	$3 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^5$
Середній	1-0,1 км	$3 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^6$
Короткий	100-10 м	$3 \cdot 10^6 - 3 \cdot 10^7$
Метровий	10-1 м	$3 \cdot 10^7 - 3 \cdot 10^8$
Ультракоткохвильовий	1 м – 0,1 мм	$3 \cdot 10^8 - 3 \cdot 10^{12}$
дециметровий	1-0,1 м	$3 \cdot 10^8 - 3 \cdot 10^9$
сантиметровий	10-1 см	$3 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{10}$
міліметровий	1-0,1 см	$3 \cdot 10^{10} - 3 \cdot 10^{11}$
субміліметровий	1-0,1 мм	$3 \cdot 10^{11} - 3 \cdot 10^{12}$
Інфрачервоний	100-0,77 мкм	$3 \cdot 10^{12} - 3,9 \cdot 10^{14}$
тепловий	100-2 мкм	$3 \cdot 10^{12} - 0,6 \cdot 10^{13}$
близький	2- 0,77 мкм	$0,6 \cdot 10^{13} - 3,9 \cdot 10^{14}$
Видимий	0,77-0,38 мкм	$3,9 \cdot 10^{14} - 7,5 \cdot 10^{14}$
Ультрафіолетовий	$4 \cdot 10^{-1} - 3 \cdot 10^{-3}$ мкм	$7,5 \cdot 10^{14} - 10^{17}$
Рентгенівський	$3 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-6}$ мкм	$10^{17} - 10^{20}$
γ- випромінювання	$\leq 1 \cdot 10^{-6}$ мкм	$\geq 10^{20}$

В США та Англії прийняті дещо інші позначення діапазонів електромагнітного випромінювання (табл.3.2).

Таблиця 3.2.

**Позначення діапазонів електромагнітного випромінювання в Сполучених Штатах Америки та Великобританії**

Прийняті позначення		Діапазон Частот	Довжина хвиль
США	Великобританія		
P	P	225-390 МГц	133,5-76,9 см
Lp – Lz	L	0,39-1,55 ГГц	76,9-19,3 см
Se – Sh	S	1,55-3,9 ГГц	19,3-7,69 см
C	C	3,9-6,2 ГГц	7,69-4,84 см
Xd – Xk	X	6,2-10,9 ГГц	4,84-2,75 см
Kp – Ku	J	10,9-17,25 ГГц	2,75-1,74 см
Kt – Kl	K	17,25-33 ГГц	1,74-0,91 см
Ka – Qe	Q	33-46 ГГц	0,91-0,65 см
Va – Ve	V	46-56 ГГц	0,65-0,54 см

Випромінювання ультрафіолетового діапазону активно поглинається озоновим шаром та повітрям і практично до Землі доходить дуже незначна частина цього випромінювання. З другого боку, проходження радіохвиль обмежується іоносферою.

Як відомо, при проходженні крізь іоносферу, радіохвилі в залежності від довжини, можуть зазнавати відбиття, заломлення (рефракція), поглинання енергії та обертання площини поляризації.

Іоносферу характеризує розподіл концентрації вільних електронів. На висоті 250-300 км маємо максимум іонізації. Вище та нижче густина електронів зменшується. Концентрація електронів на цій висоті при спокійному Сонці досягає  $5 \cdot 10^5$  ел/см<sup>3</sup>, а при сонячних спалахах на порядок вище.

Концентрація електронів в іоносфері пов'язана з ефектом відбиття радіохвиль залежністю

$$f_{\text{сiд}} = \sqrt{80,8 \cdot N_e \cdot \sec\theta}, \quad (3.1)$$

де  $\theta$  – кут падіння радіохвилі на іоносферний шар.

Цей кут відраховується від вертикалі. При  $\theta = 0^\circ$ ,  $\sec\theta = 1$ .

Максимальна частота, при якій падаюча хвиля відбивається, зветься критичною  $f_{\text{кр}}$ . Якщо частота хвилі більше, ніж критична, вона не відбивається, а проходить крізь іоносферу. Проведені розрахунки свідчать, що хвилі, коротші 15 м, проходять іоносферу і можуть використовуватись для радіозв'язку з космічними апаратами.

Таким чином, для розв'язання задач, пов'язаних з напрямками “Земля ↔ космос”, можуть бути використані такі діапазони хвиль: метровий, ультракороткохвильовий (УКХ), інфрачервоний (ІЧ), видимий. Але і в цих діапазонах, особливо в субміліметровому та інфрачервоному, хвилі можуть значно поглинатися атмосферою. Тому на практиці використовуються так звані вікна прозорості.

Космічні радіолінії повинні мати частоти вище максимально можливих при дотичному розповсюдженні відносно Землі. Рекомендується використовувати частоти більше  $10^8$  Гц. Для малошумових приймачів ця межа досягає 1 ГГц, бо на нижчих частотах космічні шуми перевищують внутрішні шуми приймачів. Верхня межа частотного діапазону обмежена втратами енергії в газах та гідрометеорах. Ці втрати значні на частотах вище 10 ГГц. Крім цього, на цих частотах збільшується рівень шумів атмосфери.

Різкий спад прозорості атмосфери у короткохвильовій зоні обумовлений розсіюванням випромінювання на електронах (Релеївське розсіяння). Смуги поглинання на довжині хвиль 2,6-2,8 мкм, 5,6-6,1 мкм та 6,3-7,0 мкм зумовлені поглинанням молекулами водяного пару тропосфери, у діапазонах 2,7-2,8 мкм, 4,2-4,4 мкм, 14,3 мкм та 15,4 мкм – за рахунок вуглекислого газу атмосфери, у діапазоні 9,7 мкм – поглинання шаром озону. Існують й інші діапазони поглинання на молекулярному рівні.

Атмосфера більш прозора для інфрачервоного та видимого

випромінювання, але й в цих діапазонах є поглинання окремих складових спектру на молекулярному рівні.

Певний вплив на роботу апаратури космічних засобів чинять шумові перешкоди зовнішніх джерел (космічні, Землі та інших планет, шуми атмосфери Землі, джерела радіовипромінювання та ін.). Для систем зв'язку “Земля ↔ космос” використовується діапазон 1-10 ГГц, так як у ньому менший сумарний рівень вказаних шумів.

Для космічного спостереження приземного простору у видимому діапазоні необхідний певний рівень освітленості (кут височіння Сонця) та прозорості атмосфери (відсутність або невеликий рівень хмарності, серпанку, туману тощо) і врахування типу підстильної поверхні. Використовувані на Україні оптичні телескопи (багатоспектральні скануючі пристрої) в системі оптико-електронного спостереження “Січ-2” потребують для цього кута височіння Сонця  $\theta_C = 30^\circ - 70^\circ$ . Верхня межа вказаного діапазону крім того враховує потребу виключення осліплення телескопа “бліками” дзеркальної складової відбиття поверхні океанів та морів, які займають значну частину поверхні Землі. Максимальний кут височіння Сонця  $\theta_{Cmax}$  залежить від широти району зйомки  $\varphi_{ш}$  та часу, що відлічується від весняного рівнодення

$$\theta_{Cmax} = 90^\circ - \varphi_{ш} + \varepsilon_e \cdot \sin[(360^\circ \cdot k_{дн})/365], \quad (3.2)$$

якщо  $\theta_{Cmax} \leq 90^\circ$ , і  $\theta'_{Cmax} = 180^\circ - \theta_{Cmax}$ ,

якщо  $\theta_{Cmax} \geq 90^\circ$ ,

де  $\varepsilon_e$  – кут між площиною екватора Землі та площиною екліптики,

$\varepsilon_e = 23,5^\circ$ ;

$k_{дн}$  – кількість днів після весняного рівнодення,  $k_{дн} = 0 - 365$ ;

$\varphi_{ш}$  – широта району спостереження, для північної півкулі  $\varphi_{шн} = 0 \div 90^\circ$ , для південної півкулі  $\varphi_{шд} = -90 \div 0^\circ$ .

Результати розрахунків максимального кута височіння Сонця для районів з північною широтою  $\varphi_{ш} = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$  залежно від дати (число та номер місяця року) приведені у вигляді графіків на рис.3.1.

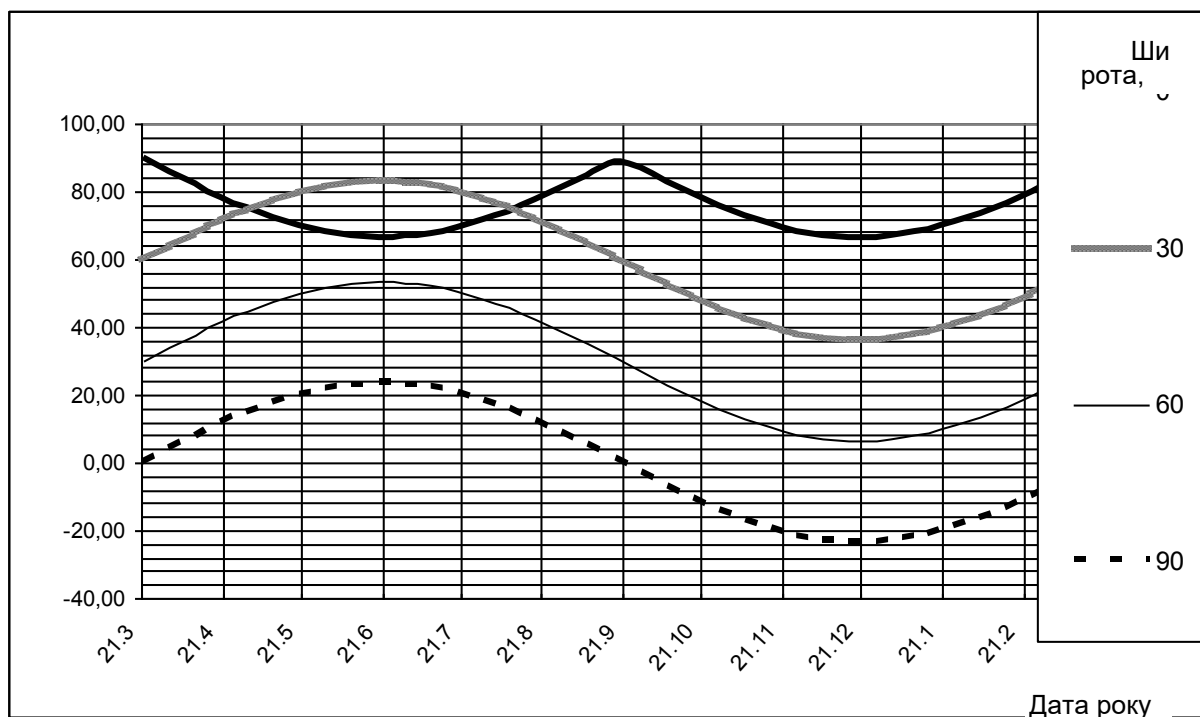


Рис.3.1. Максимальний кут височіння Сонця залежно від широти району та часу року

Аналіз графіків показує, що для об'єктів, розташованих по широті вище  $26^\circ$  є дні навколо 22 грудня, коли Сонце не досягає мінімально необхідного для оптико-електронного спостереження ( $30^\circ$ ) кута височіння. Чим більша широта району, тим більше днів не буде необхідного рівня освітленості. Для південних районів України це інтервал днів з 30 жовтня по 10 лютого, а для північних районів України – з 10 жовтня по 1 березня щорічно.

Космічний апарат оптико-електронного спостереження буде пролітати район спостереження, як правило, не опівдні (максимальний кут височіння Сонця), тому інтервал часу, коли не буде достатнього для зйомки рівня освітленості, розшириться.

Аналіз наукової літератури з метеорології [17, 18] показує, що за статистичними даними космічного спостереження на середніх північних широтах 30-60° в теплу пору року (березень-серпень) небозвід закритий хмарами на 27-67%. Тому, якщо навіть Сонце знаходиться на необхідному куті височіння, то імовірність необхідної для оптико-електронного спостереження прозорості атмосфери буде близько  $0,3 \div 0,7$ .

Таким чином, необхідні для оптико-електронного космічного спостереження у видимому діапазоні освітленість й прозорість атмосфери накладають суттєві обмеження на його оперативність. Зважаючи на це, можна стверджувати, що використання тільки оптико-електронних космічних засобів видимого діапазону для вирішення завдань інформаційного забезпечення малоефективне. Тому необхідно для вирішення вказаних завдань використовувати і інші засоби космічного спостереження (радіолокаційні, інфрачервоні), ефективність функціонування яких не залежить від пори року й метеоумов.

З початком практичного освоєння космосу він активно використовується у військовій справі. Перший напрямок – зв’язок, навігація, топогеодезія, метеозабезпечення, розвідка, попередження про ракетний напад та дистанційне зондування Землі є пасивним воєнним використанням космосу, – не тільки допустимий, а й необхідний для забезпечення національної безпеки та оборони держав. Другий напрямок – спроби розміщення в космосі засобів ураження класу “космос–космос”, або “космос–поверхня Землі” є активним воєнним використанням космосу. Сполучені Штати Америки та Радянський Союз у роки холодної війни вже встигли провести декілька ядерних випробувань у космосі. З метою припинення та попередження ескалації активного воєнного використання космосу в 60-80-х роках ХХ століття були досягнуті міжнародні домовленості та сформульовані принципи міжнародного правового регулювання космічної діяльності світової спільноти.

Статутом Організації Об'єднаних Націй визначені такі загальні принципи правового поля відносно космічного простору [19]:

1. Космічний простір відкритий для досліджень та використання всіма державами світу без будь-якої дискримінації.

2. Космічний простір не підлягає національному привласненню ніякими способами.

3. Принцип незастосування сили або загрози сили розповсюджується і на космічний простір.

4. Не проводити ядерні вибухи в космосі, не виводити на орбіти навколо Землі будь-які об'єкти з ядерною зброєю або іншими видами зброї масового знищення, не встановлювати таку зброю на небесних тілах.

5. Забороняється створення на небесних тілах воєнних баз, випробування будь-яких типів зброї та проведення воєнних маневрів.

6. Держава, до реєстру якої занесений об'єкт, зберігає юрисдикцію і контроль над таким об'єктом під час його знаходження в космосі.

7. Держава несе міжнародну відповідальність за шкоду, що заподіяна його об'єктом в космосі іншим державам.

8. Держави зобов'язались не створювати завади національним технічним засобам контролю інших держав.

9. Держави зобов'язались заборонити воєнні діяння на космічний простір.

Зобов'язання, що містяться в наведених принципах, розповсюджуються на держави, які підписали відповідні міжнародні документи.

Космічний простір використовується для розташування космічних апаратів різних космічних систем та для польоту балістичних ракет і повітряно-космічних літаків. Керівництво найбільш технологічно-розвинутих держав світу (Сполучені Штати Америки (США), Російська Федерація (РФ) та ін.) вважає космос за окрему сферу діяльності.

Автори посібника [3] пропонують поділити космічний простір на декілька операційних зон (рис.3.2).

Перша по висоті – це приземна операційна зона, яка вміщує в собі повітряну зону (0-50 км) та повітряно-космічну зону (50-150 км). До неї відносять і ділянки поверхні Землі, на яких розміщуються наземні елементи космічних систем, протисупутникових та протиракетних комплексів, зони дій яких охоплюють космічний простір. В цій зоні розташовані ділянки виводу балістичних ракет (БР) та штучних супутників Землі (КА), кінцеві ділянки польоту БР та спуску КА, траєкторії польоту повітряно-космічних літаків, зони дій комплексів протиракетної оборони (ПРО) ближнього перехоплення.

Повітряно-космічна зона має порівняно значну густину атмосфери. У зв'язку з цим орбітальний політ космічних апаратів в ній практично неможливий (максимум 1-2 витки). Крім цього, політ з космічною швидкістю в цій зоні призводить до значного розігріву корпусу і потребує складного теплового захисту, в той же час наявність атмосфери забезпечує можливість використання аеродинамічних сил для маневру транспортних космічних кораблів, повітряно-космічних літаків та бойових блоків БР.

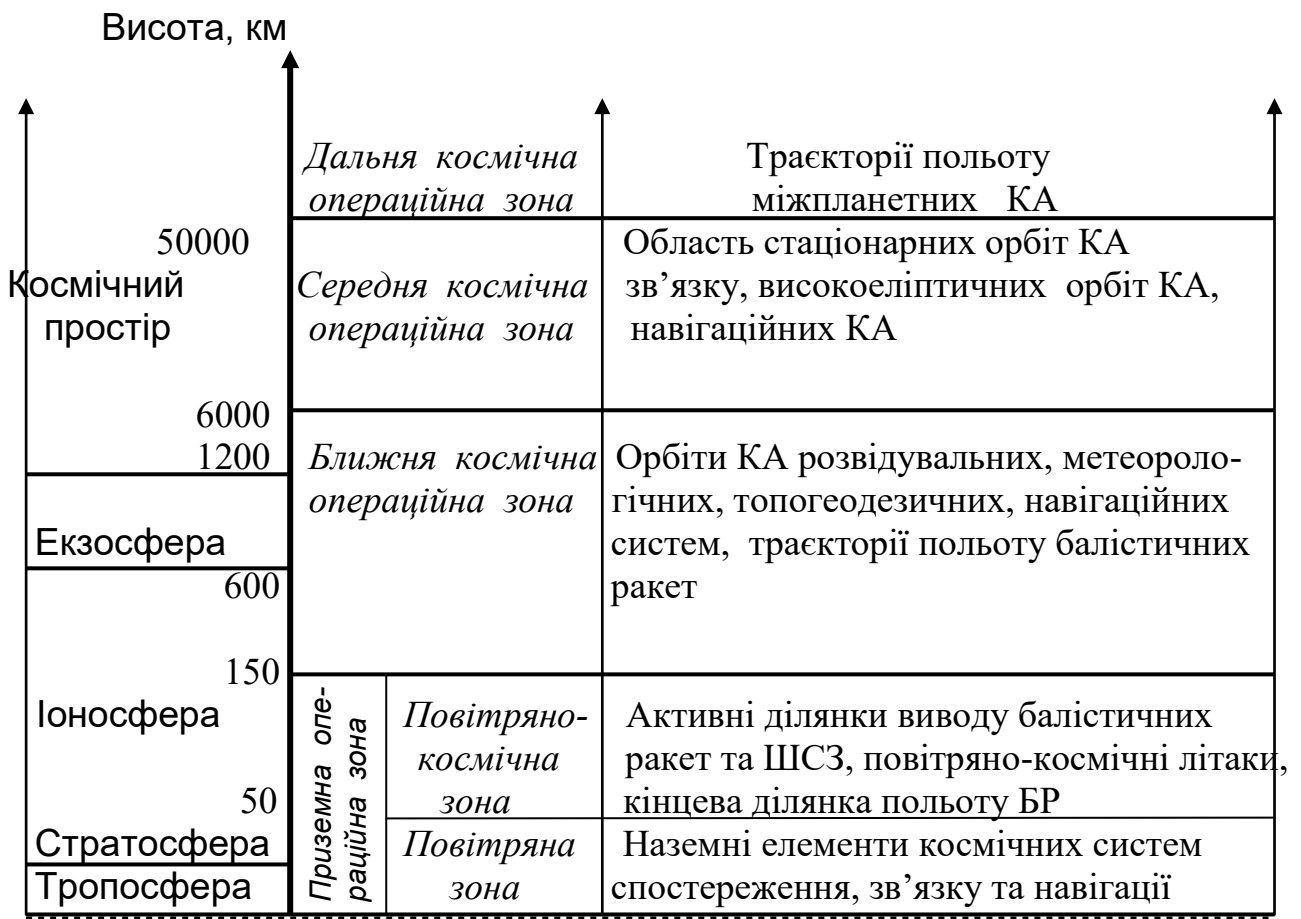


Рис.3.2. Операційні зони космічного простору

Повітряно-космічна зона розташована нижче радіаційних поясів Землі і в її межах знаходяться два іоносферних шари  $D$  і  $E$ , які поглинають довгі та середні радіохвилі. Невелика відстань повітряно-космічної зони від Землі дозволяє вести спостереження малорозмірних наземних об'єктів.

Друга за віддаленістю від Землі – ближня космічна операційна зона (150-6000 км) характеризується незначною густиною атмосфери, що забезпечує значну тривалість польоту космічних апаратів без корекції орбіти. Але тут розташований внутрішній радіаційний пояс Землі (600-6000 км) з дозою опромінення  $180 R$  за добу, що потребує радіаційного захисту екіпажу та радіоелектронної апаратури космічних апаратів, виконуючих політ в межах цього поясу.

В ближній операційній зоні розташовані іоносферні шари  $F1$  та  $F2$ , які відбивають радіохвилі короткохвильового діапазону, що значною мірою впливає на організацію космічного зв'язку. Але значні переваги цієї зони (невелика відстань від Землі і порівняно невеликі енергетичні витрати при виводі супутників, відсутність або незначний радіаційний вплив до висот 1000 км) роблять її привабливою для розташування багатьох космічних систем. На сьогоднішній день у цій зоні розташована більшість космічних об'єктів штучного походження (до 80 %). Це зона орбіт розвідувальних, метеорологічних, топогеодезичних, навігаційних КА і космічних апаратів дистанційного зондування Землі, а також бойових космічних систем, пасивних ланок польоту балістичних ракет, зон дій комплексів ПРО та протикосмічної оборони (ПКО), системи попередження про ракетний напад (ПРН).

Третя за віддаленістю від Землі – середня космічна операційна зона (6000-50000 км) характеризується малою густиною атмосфери, що забезпечує необмежену тривалість польоту космічних апаратів. Тут розташований

зовнішній радіаційний пояс Землі. Ця операційна зона знаходиться вище іоносферного шару, що забезпечує сприятливі умови для космічного зв'язку між космічними апаратами в ультракороткохвильовому діапазоні. У цій зоні розташована область стаціонарних орбіт, високоеліптичних орбіт космічних апаратів зв'язку, ретрансляторів, навігаційних систем, радіо- та радіотехнічної розвідки, зон дії комплексів ПКО дальнього перехоплення та космічних засобів контролю космічного простору. Ця зона останні роки набуває більшого значення за рахунок таких її переваг: мала досяжність для активних засобів ураження, велика зона дій на земній поверхні, відносна стаціонарність знаходження космічних апаратів.

Четверта за віддаленістю від Землі – дальня космічна операційна зона (вище 50000 км) на теперішній час майже не освоєна. Тут проходять лише траєкторії міжпланетних станцій та дослідницьких апаратів. Але деякі переваги цієї зони (практична неосяжність, труднощі виявлення космічних апаратів, наявність точок лібрації, орбіта Місяця) з часом можуть зробити цю зону привабливою для розташування деяких космічних систем воєнного призначення.

Серед показників космічного простору належить відмітити показники, які характеризують часові можливості використання космічних систем у космосі, можливості здійснення космічним апаратом маневру [3].

Важливою характеристикою слід вважати час балістичного існування супутника ( $T_{BI}$ ), як час, за який орбіта зміниться (зменшиться) до такої, що супутник припинить своє існування в атмосфері.

Умовам, при яких космічний апарат припинить своє існування, відповідає так звана критична орбіта, тобто така висота орбіти  $H_0$ , при якій він може зробити всього один оберт навколо Землі. Критичне значення висоти польоту КА залежить від балістичного коефіцієнта  $C_B$  та моделі атмосфери, що використовується при розрахунках. Балістичний коефіцієнт розраховується за формулою [2]

$$C_B = \frac{0,5 \cdot C_x \cdot S_m}{m}, \quad \left[ \frac{m^3}{кгс \cdot c^2} \right] \quad (3.3)$$

де  $C_x$  – безрозмірний коефіцієнт лобового опору;  
 $S_m$  – площа міделя;  
 $m$  – маса космічного апарата, кг.

Результати розрахунку часу балістичного існування КА  $T_{BI}$  в залежності від висоти орбіти  $H_O$  та балістичного коефіцієнта  $C_B$  наведені на рис.3.3 [3].

При зміні балістичного коефіцієнта в широких межах ( $0,001 m^3 / кгс \cdot c^2 \leq C_B \leq 1,0 m^3 / кгс \cdot c^2$ ), критична висота орбіти космічного апарата  $H_{KPT}$  та критичний період обертання  $T_{KPT}$  змінюються порівняно мало ( $108 \text{ км} \leq H_{KPT} \leq 188 \text{ км}$ ;  $86,5 \text{ хв} \leq T_{KPT} \leq 88,1 \text{ хв}$ ). Практично можна вважати, що мінімальна висота польоту космічних апаратів 100-120 км, а мінімально можливий період 86,5-86,7 хвилин [2].

Висота польоту космічного апарата обумовлює не тільки час його балістичного існування, а й роботу апаратури із заданими параметрами (смугою огляду, розрізненням та ін.). Інтервал часу зменшення висоти польоту на якусь величину характеризує час виконання завдань із заданими параметрами роботи, що також може розглядатись як характеристика космічної операційної зони. Вона може бути визначена з графіків рис.3.3, якщо від часу балістичного існування взяти необхідний відсоток зменшення висоти. Для підтримки параметрів орбіти в необхідному діапазоні, передбачається можливість здійснення маневру.

Величина сидеричного, або зіркового, періоду обертання штучного супутника Землі  $T_{ЗИР}$  пов'язана з великою піввіссю його траєкторії  $a$  таким співвідношенням [3]

$$T_{ЗП} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{a^3 / \mu_0}, \quad (3.4)$$

де  $\mu_0$  – гравітаційний параметр Землі,  $\mu_0 = 3,98602 \cdot 10^{14} \text{ м}^3 / \text{с}^2$ ;

$a$  – велика піввісь траєкторії КА.

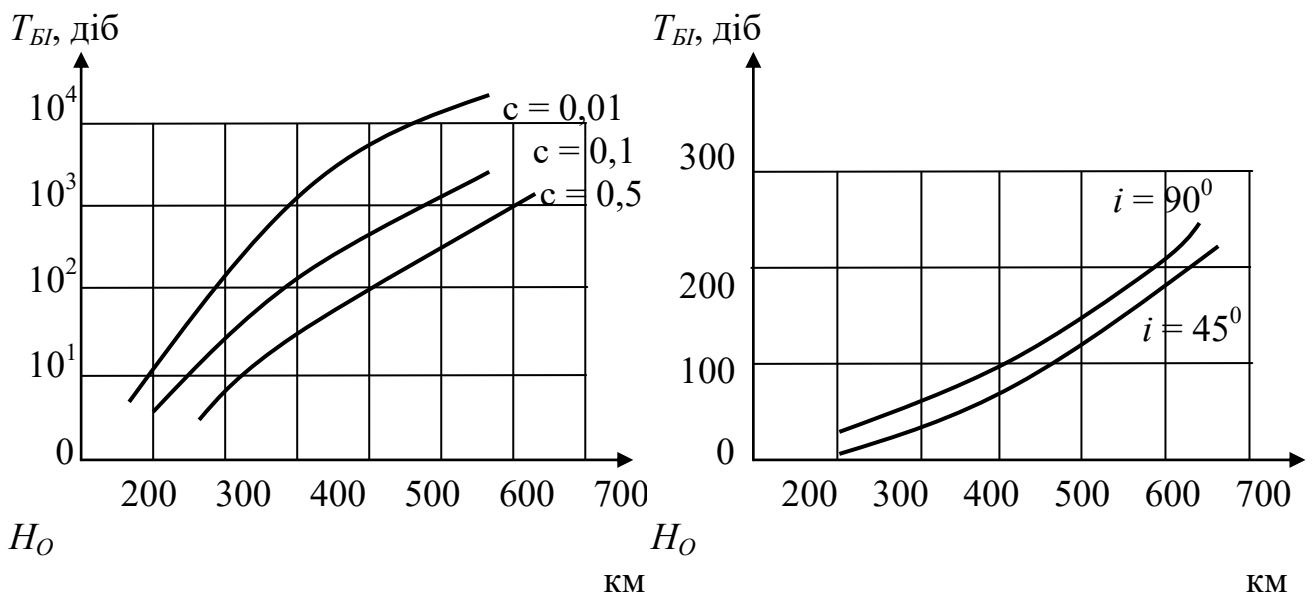


Рис.3.3. Час балістичного існування КА: а – на коловій орбіті; б – на еліптичній орбіті з висотою перигею  $H_{П} = 200$  км та нахиленням  $i$

Космічна операційна зона тісно пов'язана із Землею, на якій знаходяться засоби запуску космічних апаратів та управління ними. Важливою характеристикою космічної операційної зони є можливість запуску космічних апаратів та нарощування, відновлення або побудови їх нових угруповань. Можливості запуску КА перш за все визначаються можливостями космічних полігонів, кількістю стартових комплексів, розташованих на них, схемою підготовки ракет-носіїв та КА до запуску. Запуск космічних апаратів на орбіту з певним нахиленням  $i$  залежить від широти полігона запуску КА  $\varphi_{СТ}$  та азимута запуску  $\beta_{СТ}$

$$i = \arccos(\sin \beta_{СТ} \cdot \cos \varphi_{СТ}). \quad (3.5)$$

Найбільшу кількість космічних полігонів мають Сполучені Штати Америки, Російська Федерація, Франція та Китайська Народна Республіка, крім того полігони запуску КА мають Бразилія, Індія, Ізраїль та Австралія.

### **3.2. Принципи формування зображення системами космічного спостереження**

#### **3.2.1. Загальна характеристика електромагнітного випромінювання**

Можливість дистанційного вивчення об'єктів на поверхні Землі за допомогою космічних засобів спостереження ґрунтується на об'єктивно існуючих зв'язках між характеристиками (параметрами) природного середовища і полем (відбитого і власного) випромінювання земної поверхні. Вимірювання інтенсивності цього поля, за допомогою космічних систем спостереження, лежать у основі отримання космічних зображень Землі та об'єктів на її поверхні й під землею. Процес формування космічних зображень залежить від великої кількості факторів і є досить складним.

Електромагнітним випромінюванням називається розповсюдження енергії у просторі у вигляді хвиль або прямолінійного потоку світових часток – фотонів. Тому електромагнітне випромінювання може бути описане специфічними хвильовими параметрами (швидкістю розповсюдження, довжиною хвилі та частотою), або в поняттях корпускулярної теорії як потік світових квантів чи фотонів, коли мова йде про світлове випромінювання. Двоїстість природи електромагнітного випромінювання стає явною на прикладі сонячного світла. Характер всіх електромагнітних хвиль однаковий. Вони розповсюджуються у вакуумі зі швидкістю світла і відрізняються одне від

іншого власною частотою, довжиною хвилі та енергією, займаючи відповідне положення в електромагнітному спектрі.

На теперішній час для отримання зображення земної поверхні та розташованих на ній об'єктів використовуються різні ділянки електромагнітного спектру. Космічні зображення формуються шляхом реєстрації електромагнітних випромінювань, що відбиваються або породжуються земними утвореннями та штучними об'єктами. Різні об'єкти космічного спостереження мають неоднакові спектрально-енергетичні характеристики випромінювання й відрізняються геометричними розмірами, формою та характером поведінки у часі і просторі. Спектральний діапазон випромінювань об'єктів дуже великий – від ультрафіолетового до радіохвильового. Більшість технічних засобів космічного спостереження функціонує в ультрафіолетовій, видимій та ближній інфрачервоній частинах оптичного діапазону (рис.3.4). В інженерній практиці спектральний діапазон електромагнітних випромінювань, які використовуються для формування зображень, поділяють на інтервали (табл.3.3) [23].

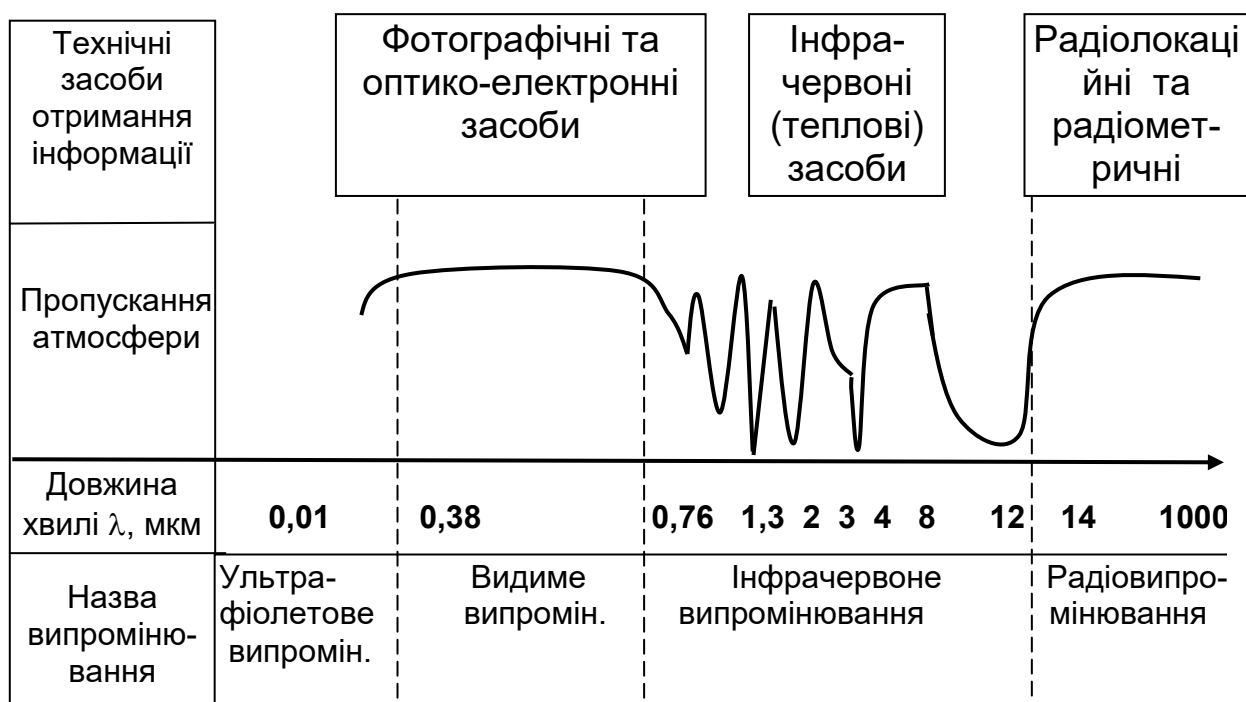


Рис.3.4. Области спектра електромагнітних хвиль, що використовуються для космічного спостереження



й контролі стану гідрографії, ґрунтів, лісових покривів, рослинності та інших складових екологічної системи. Залежно від конкретного тематичного завдання інформативним може бути той чи інший спектральний інтервал – від ультрафіолетового до радіохвильового.

### **3.2.2. Принципи формування зображень засобами оптичного діапазону**

Космічні оптико-електронні засоби забезпечують можливість спостереження об'єктів за їх власним тепловим або відбитим сонячним випромінюванням шляхом перетворення електромагнітних хвиль у електричні сигнали. Ці сигнали підсилюються та перетворюються у цифрову форму, після чого відбувається їх запам'ятовування з подальшою передачею по радіолінії спеціальної інформації на наземний інформаційний комплекс [24-28].

У загальному випадку потік електромагнітної енергії від об'єкта, що випромінюється в напрямку до оптико-електронного засобу, визначається температурою  $T^0$  об'єкта, відбивною і випромінювальною здатністю його поверхні, які характеризуються коефіцієнтом яскравості та енергетичною світністю.

Випромінювання, яке йде від Сонця або штучного джерела у вигляді пучків або променів електромагнітних хвиль (потіку енергії), вступає у взаємодію з речовиною або середовищем на поверхні Землі. Одна частина цього потоку енергії, у відповідності із властивостями поверхні речовини або середовища, направлено відбивається або розсіюється. Інша частина випромінювання проникає всередину середовища і в ньому заломлюється або відбивається на межових поверхнях, тобто на поверхнях розділу речовин, які утворюють середовище. У тій чи іншій мірі електромагнітні хвилі взаємодіють з носіями зарядів речовини (атомами та молекулами) і поглинаються ними (абсорбція). Як наслідок такого поглинання речовина розігрівається й випускає

потік вторинного теплового випромінювання – емісія. Нарешті можливе проникнення хвиль певної довжини всередину середовища (речовини) на деяку глибину від поверхні якби просвічуючи його – трансемісія або пропускання.

Схематично представлення про важливіші для дистанційного зондування процеси відбиття і поглинання сонячної енергії на поверхні Землі, а також про проходження потоку сонячної енергії до Землі через атмосферу показано на рис.3.5 [24]. Величина температурного ослаблення більше залежить від температурної або теплової інерції ґрунтів і гірських порід. При високих температурних коефіцієнтах (теплоємності) більша частка поглинутої сонячної

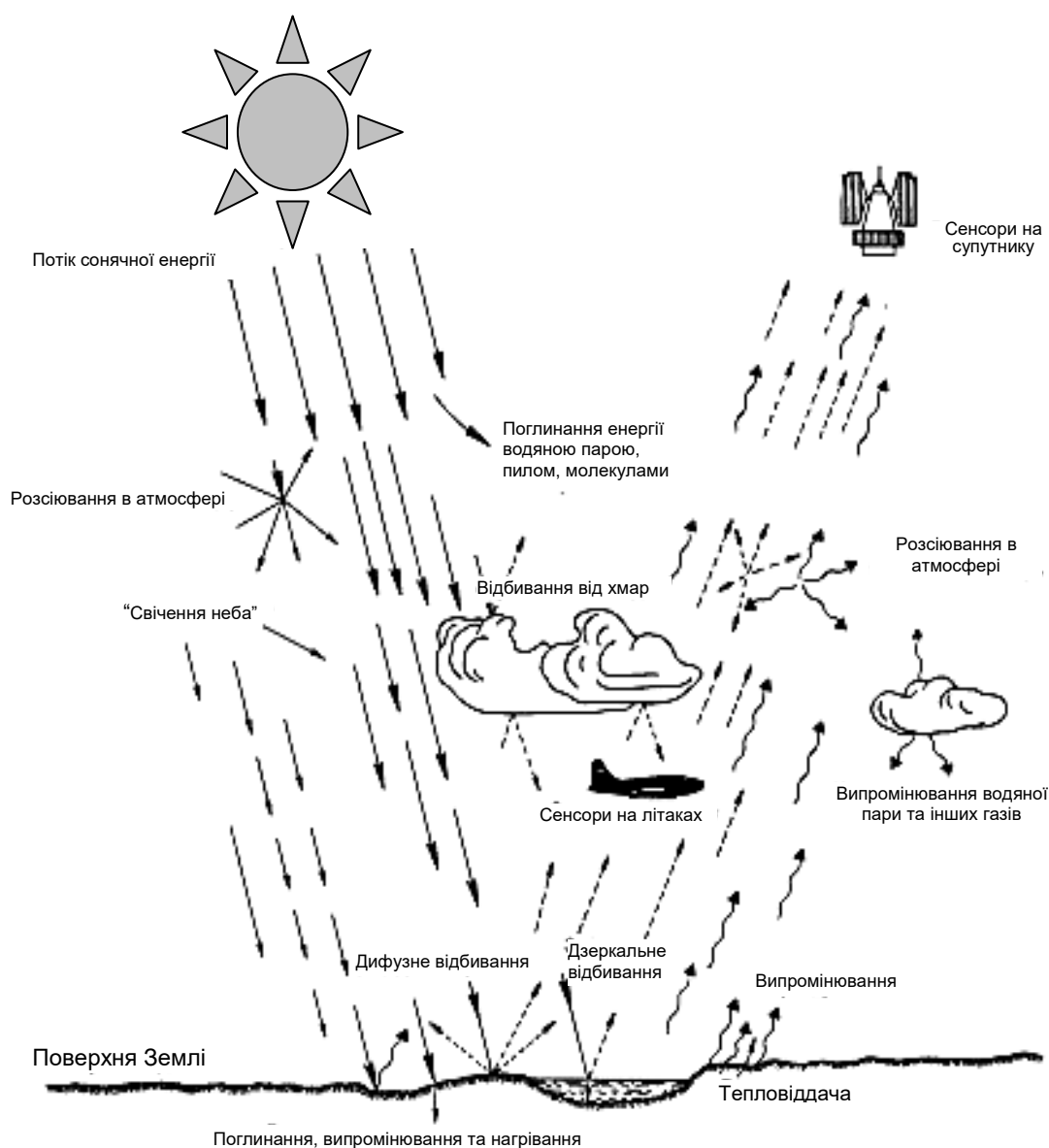


Рис.3.5. Схема процесів відбиття, розсіювання та поглинання енергії в атмосфері та на поверхні Землі

енергії (відповідно тепла) відносно швидко пройде на ту чи іншу глибину всередину шару ґрунтового-рослинного покриву або гірської породи. Там вона буде накопичуватись і потім повільно випромінюватись після заходу Сонця. При малих температурних коефіцієнтах поверхня гірської породи або ґрунту нагрівається швидше, але за день тепло пройде тільки на незначну глибину від її поверхні, і тому вони будуть швидше охолоджуватись вночі. Пористість породи або ґрунту значно впливає на їх теплоємність. В сухих ґрунтах і породах пори заповнюються повітрям, яке є теплоізолятором, тому їх теплоємність зменшується. Вода має коефіцієнт випромінювання близький до одиниці, тому у вологих ґрунтах та породах, коли пори заповнюються вологою, температурні контрасти на протязі доби більш вирівняні, ніж в однотипних з ними сухих ґрунтах та породах. Вологонасиченість ґрунтів та порід сприяє сильному поглинанню ними сонячної енергії вдень та сильному вторинному випромінюванню вночі [24, 25].

Вплив атмосфери на результати дистанційних вимірів проявляється у збільшенні яскравості темних об'єктів і зменшенні яскравості світлих об'єктів, у складному перетворенні спектру відбитого і власного випромінювання природних утворень, а також у зміні поля випромінювання, що відбивається.

Наприклад, навіть у випадку рівноімовірного по кутах відбивання на рівні земної поверхні (за законом Ламберта) яскравість об'єктів, що візуються через атмосферу може зростати або зменшуватись (залежно від стану атмосфери) при переході від надирних кутів візування до перспективного візування.

На трансформацію випромінювання, що уходить у видимій та ближній інфрачервоній областях спектра здійснює вплив розсіювання та поглинання випромінювання газовими та аерозольними субстанціями атмосфери, ступінь поляризації відбитого і розсіяного випромінювання, турбулентні пульсації густини атмосфери і т. п.

Для врахування спотворюючого впливу атмосфери потрібні вихідні дані про параметри атмосфери, що впливають на перенесення випромінювання:

хімічного стану, концентрацій та функцій розподілення аерозольних частинок по розмірам, а також концентрацій газових компонентів атмосфери.

Із задачею врахування спотворюючого впливу атмосфери тісно пов'язана задача врахування впливу неоднорідностей земної поверхні на дані дистанційних вимірювань. Як правило, врахування викривляючого впливу атмосфери зводиться до рішення крайової задачі перенесення випромінювання над ортотропною і горизонтально-однорідною поверхнею Землі. При цих обмеженнях апробовано більшість існуючих методів обробки даних дистанційного зондування Землі. Можливість розпізнавання об'єктів на матеріалах інфрачервоної зйомки визначається величиною ефективної температури елементів ландшафту, що дорівнює температурі абсолютно чорного тіла, випромінювання якого викликає таку ж саму реакцію системи, як і випромінювання елемента об'єкта спостереження з урахуванням ослаблення, внесеного атмосферою. Зміна ефективної температури елементів поверхні ландшафту у значній мірі відповідає деталям візуальної картини, що спостерігається, тому створюване системою інфрачервоне зображення звичайно відповідає нашим представленням про форму і розміри елементів ландшафту.

Класифікація оптико-електронних систем може бути проведена за різними ознаками: типу приймача випромінювання, способу розкладання зображення елементів ландшафту, а також кількості використовуваних зон електромагнітного спектру.

За типом приймача випромінювання виділяються системи з одноелементним і багатоелементним приймачем випромінювання. У свою чергу, системи з багатоелементним приймачем випромінювання за способом розкладання елементів ландшафту поділяються на системи з послідовним і паралельним розкладанням елементів. По кількості зон електромагнітного спектра розрізняють одноканальні, багатоспектральні і гіперспектральні системи [27].

**Одноканальна оптико-електронна система з одноелементним приймачем випромінювання** [23, 26, 27]. Спрощена функціональна схема такої системи зображена на рис. 3.6. До системи входять: фотоприймач *Пр*, дзеркальний об'єктив *Об*, пристрій електромеханічної розгортки *З* на основі призми або багатогранного дзеркала, підсилювач та *Передавач*.

Пристрій електромеханічної розгортки обертається навколо осі, чим досягається переміщення миттєвого поля зору *B* (рис. 3.6) по осі *OX*, яка спрямована по нормалі відносно напрямку руху літального апарату. За рахунок сканування простору пристроєм розгортки, відбувається послідовний за часом огляд поля зору в межах кута  $2\beta$  (рис. 3.7). Формування зображення по осі *OY*, яка співпадає з напрямком руху, відбувається за рахунок власного переміщення носія оптико-електронного приладу (КА).

Одноканальні оптико-електронні системи з одноелементним приймачем випромінювання широко застосовувались десь до середини 80-х років, після чого їх замінили системи на основі пристроїв із зарядовим зв'язком.

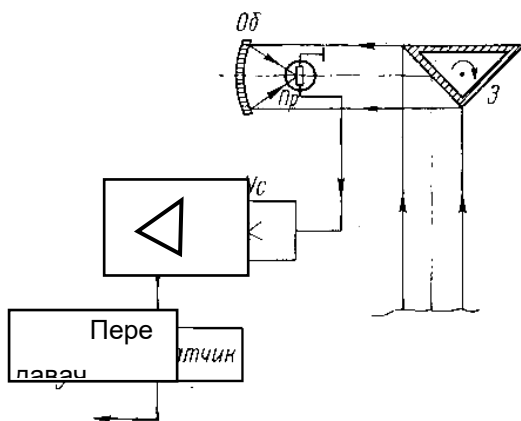


Рис.3.6. Одноканальна оптико-електронна система з одноелементним приймачем

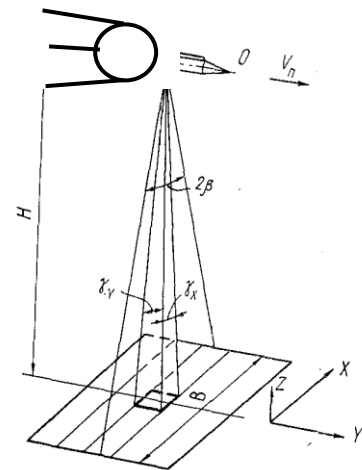


Рис.3.7. Принцип послідовного формування зображення району зйомки

**Системи видового спостереження з електронним скануванням.** Системи з електронним скануванням зображення поверхні, розроблюються на багатоелементних лінійках чи матрицях приладів із зарядовим зв'язком (ПЗЗ). Процес формування зображення складається з основних етапів: 1) поглинання

світла фоточутливими елементами лінійки чи матриці ПЗЗ; 2) локалізація електронних носіїв у вузлах матриці; 3) опитування матриці в растрі розгорнення і формування вихідного сигналу зображення. Зареєстрований на елементах матриці розподіл зарядів стирається при скануванні і матриця здатна відразу сприймати нове зображення. Головні переваги систем з електронним скануванням на ПЗЗ у порівнянні з оптико-механічними системами – це відсутність елементів, що рухаються, більший час накопичення енергії випромінювання на приймачі, рівномірне формування елементів розкладання зображення і сталість геометрії матричної структури. Зазначені переваги забезпечують великий ресурс роботи систем на ПЗЗ, потенційно більш високу просторову розрізненість, можливість значного підвищення продуктивності зйомок, виключення геометричних викривлень. Системи розглянутого класу характеризуються наступними перевагами: меншими масою і габаритними розмірами, меншою споживаною потужністю, великим динамічним діапазоном, уніфікацією систем обробки інформації для видимого та ІЧ-діапазонів та ін.

Системи на ПЗЗ почали розробляти наприкінці 70-х років у США в рамках програми MLA (англійська аббревіатура від “багатозональні лінійні масиви”). Одним з перших приладів для дистанційного зондування Землі із космосу з лінійними решітками фотоприймачів був модульний багато-зональний оптико-електронний сканер MOMS, розроблений фірмою МВБ (ФРН), що використовувалася в польотах транспортного космічного корабля “Шаттл” у 1983 і 1984 р. [27]. ПЗЗ лінійки в цьому сканері містили по 1728 елементів. В даний час розроблені модифікації цієї системи MOMS-02 і R-MOMS.

У СРСР перша система на ПЗЗ була випробувана в рамках програми “Метеор – Природа” у 1980 р. На КА “Метеор – Природа” був встановлений сканер високої розрізненості МСУ-Е [10, 24, 28]. Надалі дану систему встановлювали на КА “Ресурс” і “Океан”. На даний час в Україні розроблений удосконалений варіант даної системи – МСУ-ЕУ, у якому забезпечується краща в порівнянні з МСУ-Е просторова розрізненість. У Росії розроблений новий

сканер високої просторової розрізненості МСУ-В, у якому використовують більшу кількість спектральних каналів зйомки.

В Індії перша система на ПЗЗ була встановлена на КА "Рохіні" ще в 1983 р. У даний час розроблені більш досконалі системи, що експлуатують на КА серії IRS. На супутнику IRS-P3 встановлена удосконалена версія системи WIFS, у якій додатково введений канал зйомки ІЧ-діапазону.

На японському супутнику MOS-1 встановлена система високої розрізненості на ПЗЗ MESSR. Хоча за просторовою розрізненістю вона поступається системам, встановленим на супутниках SPOT і IRS, але характеризується більш високою спектральною розрізненістю [28]. Для супутника JERS-1 розроблена система високої розрізненості, що має чотири спектральних канали в ІЧ-діапазоні.

Найбільш досконалою системою на ПЗЗ у даний час визнана знімальна система високої розрізненості HRV, що функціонує на французьких супутниках серії SPOT, рис.3.8 [10,29]. На супутнику встановлені дві системи HRV, кожна з яких містить у собі 16 лінійних масивів приймачів ПЗЗ по 1728 елементів у масиві. Розроблено модифікації цієї системи HRVI, у якій введений додатковий канал ІЧ-діапазону, підвищена просторова розрізненість у ІЧ каналі і здійснено стиснення даних у панхроматичному каналі. У рамках програми SPOT розробляють також систему середньої просторової розрізненості.

Характеристики оптико-електронних сканерів на базі ПЗЗ наведені в табл.3.4.

**Характеристика телевізійних систем.** Телевізійні (ТВ) системи космічного спостереження представляють сукупність оптичних, електронних і радіотехнічних пристроїв [26, 29], які застосовуються для огляду місцевості та розташованих на ній об'єктів і передачі зображення на Землю (рис. 3.9). Система включає передавальну і приймальну станції, об'єднані широкосмуговим радіоканалом передачі зображення. Передавальна станція

встановлюється на літальних апаратах (літаках, вертольотах, безпілотних літаках, космічних апаратах). Вона складається з передавальної камери, ряду блоків електронної обробки телевізійних сигналів і передавача з антенним пристроєм. Основним елементом передавальної камери є оптико-електронний чутливий пристрій з первинним перетворювачем, у якому світлова енергія перетворюється в електричні сигнали, що передаються на Землю. Випромінювання від місцевості і об'єктів може фіксуватися первинним перетворювачем у видимій, ультрафіолетовій і інфрачервоній частинах оптичного діапазону чи радіодіапазоні електромагнітного спектру. Відповідно до цього міняється тип перетворювача. В оптичному діапазоні застосовуються електронно-променеві трубки, електронно-оптичні перетворювачі, оптико-механічні пристрої, інфрачервоні пристрої та ін. У телевізійній системі, що працює в радіодіапазоні, первинним перетворювачем є приймач електромагнітного випромінювання міліметрового або сантиметрового діапазону.

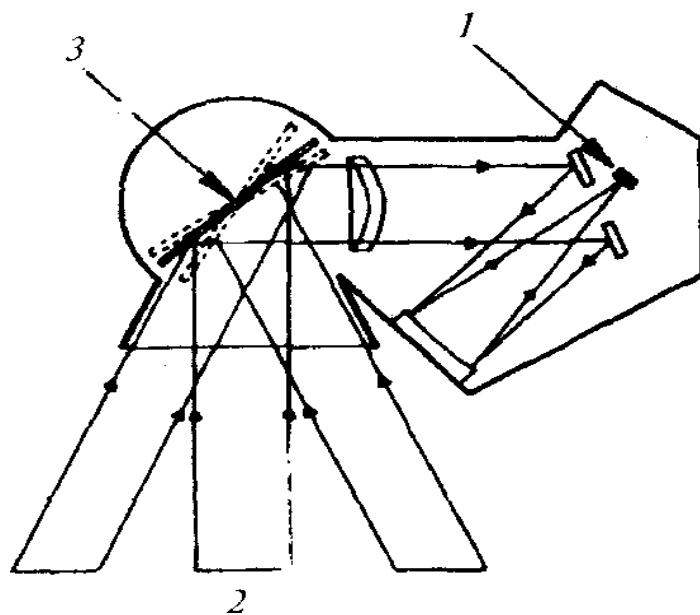


Рис.3.8. Схема багатоспектрального фотоприймального пристрою HRV: 1 – лінійки детекторів ПЗЗ; 2 – поле зору в надирі; 3 – рухоме дзеркало.

Таблиця 3.4

## Характеристики оптико-електронних сканерів на базі ПЗЗ

АПАРАТУ РА	КА	Країна	Число спектраль- них каналів	Спектральний діапазон	Просторо- ва розріз- ненність, м	Смуга огляду, км
HRV	КА "SPOT"	Франція	4	500...590 нм 610...680 нм 790...890 нм	20 20 10	2×60
HRVIR	КА "SPOT"	Франція	5	790...890 нм	20 20	2×60
MOMS-01	ТКК "Шаттл"	США	2	575...625 нм 825...915 нм	20 20	138
MOMS-02	Розробка для платформи SPAS-01	США	4	575...625 нм 825...915 нм 1,51...1,70 мкм 2,13...2,33 мкм	20 20 25 10	200
R-MOMS	Розробка для КА "Radarsat"	Канада	4	485 нм 555 нм 650 нм 825 нм	30	200
МСУ-Е	"Січ-1" "Метеор- Природа" "Ресурс-01"	СРСР Україна, Росія	3	500...600 нм 600...700 нм 800...900 нм	45	45
МСУ-ЕУ	КА "Січ-1М"	Україна	3	500...700 нм 700...800 нм 800...1000 нм	34(24)	48
LISS-II	КА IRS-P2	Індія	4	450...520 нм 520...590 нм 620...680 нм 770...840 нм	32×37	74
LISS-III	КА IRS-1C	Індія	4	520...590 нм 620...680 нм 770...860 нм 1,55...1,70 мкм	23 23 23 70	142 142 142 148
PAN	КА IRS-1C	Індія	1	500... 750 нм	5,8	70
МСУ-В	КА "Океан-О"	Україна, Росія	8	480...520 нм 540...610 нм 630...730 нм 780...920 нм 915...997 нм 1,47...1,62 мкм 2,06...2,38 мкм 10,6...12,0 мкм	50 50 50 50 50 100 275 275	180... 2000

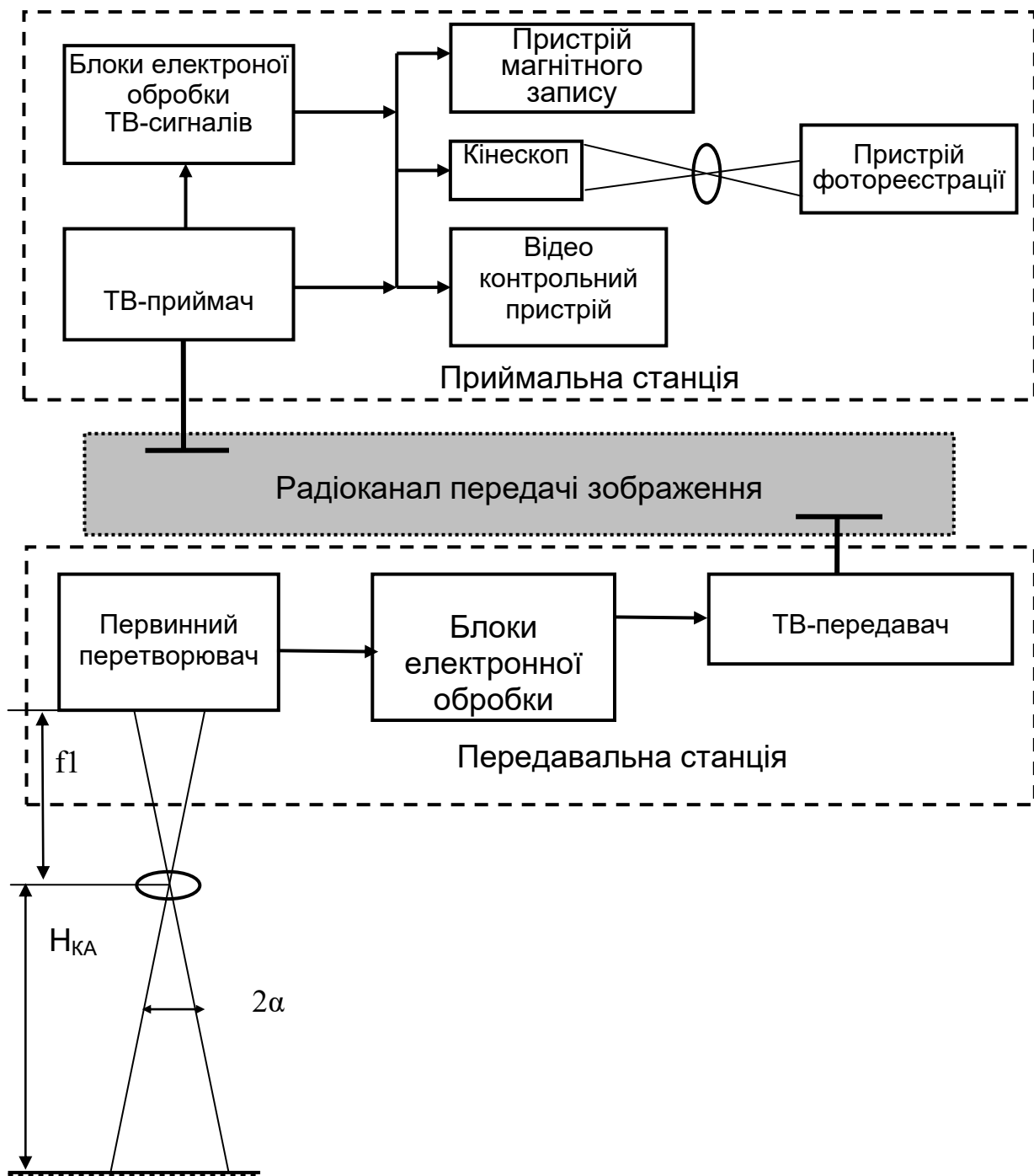


Рис.3.9. Спрощена схема телевізійної системи спостереження

Приймальна станція, що розташовується звичайно в наземних (надводних) засобах, включає наступні основні елементи: гостронаправлену антену зі слідкуючим пристроєм, телевізійний приймач, ряд блоків електронної обробки

телевізійних сигналів, аналогічних блокам передавальної станції, блок виділення телеметричної інформації, один чи декілька відеоконтрольних пристроїв (ВКП), системи фотографічної і магнітної реєстрації зображення. Основним елементом телевізійного приймача є вторинний перетворювач, який перетворює прийняті антеною електричні сигнали у зображення місцевості й об'єктів, що знаходяться на ній.

Тип вторинного перетворювача залежить від того, яке зображення потрібно одержати на виході системи: рухоме чи нерухоме, чорно-біле чи кольорове, плоске чи об'ємне. У системах телевізійної космічної розвідки для одержання рухливого чи нерухомого плоского чорно-білого зображення використовуються головним чином електронно-променеві трубки (кінескопи).

Спостереження за місцевістю і об'єктами з використанням ТВ-систем може здійснюватися при освітленні їх природними джерелами світла (Сонце, зірки і люмінесцювальні верхні шари атмосфери, а також освітлювані Сонцем Місяць і верхні шари атмосфери). Як штучні джерела освітлення місцевості найчастіше використовуються лазери.

В основі телебачення лежить принцип поділу зображення на елементи (рис. 3.10).

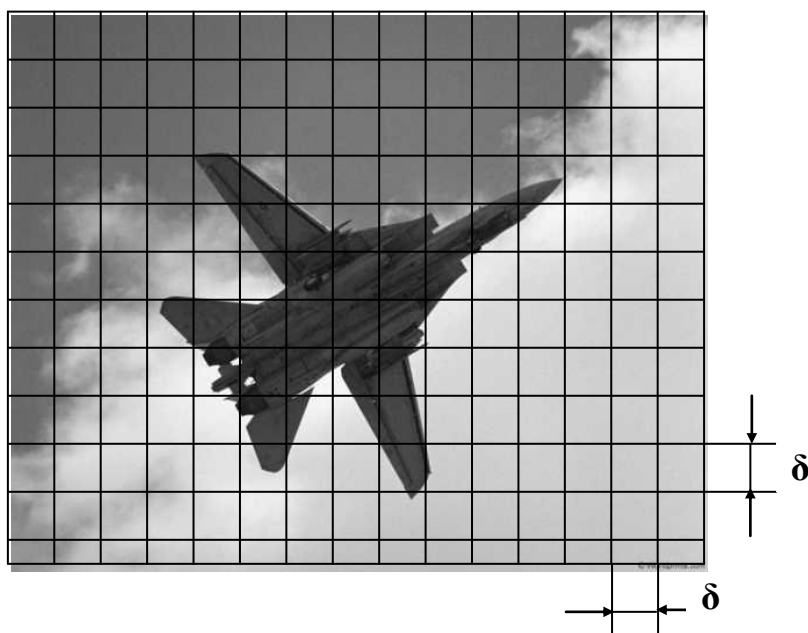


Рис.3.10. Поділ зображення на елементи

Поле зображення розбивається на елементи, величина яких вибирається настільки малою, щоб, передаючи по каналу зв'язку значення яскравості кожного, на прийомній стороні можна було побудувати з досить малою похибкою зображення.

Таким чином, першим принципом ТВ-передачі зображення є поелементна передача значень яскравості окремих його елементів, що здійснюється шляхом розгортки просторово-часового поля об'єкта на передавальній стороні і зображення об'єкта на прийомній стороні. Зображення місцевості проектується об'єктивом на мозаїку первинного перетворювача (телевізійної трубки), у якому всі елементи кожного рядка пробігає дуже тонкий світловий чи електронний промінь. На виході первинного перетворювача пропорційно яскравості кожного елемента утворюються електричні імпульси. Таке послідовне перетворення двовимірного плоского зображення в одномірний електричний сигнал і називається розгорткою. Промінь найчастіше має круглий перетин. Його діаметр в площині земної поверхні  $\delta$  називається апертурою променя. Величина  $\delta$  характеризує розрізненну здатність системи. Тому апертура променя вибирається з урахуванням розмірів простих об'єктів, телевізійне зображення яких необхідно розпізнавати. У процесі первинного перетворення яскравості елемента зображення в електричний сигнал відбуваються апертурні спотворення, що знижують розрізненну здатність телевізійної системи. Виникають апертурні спотворення і в різних елементах прийомної ТВ-станції. Вони тим більше, чим більше діаметр (апертура) світлового чи електронного променя.

Для того, щоб зображення місцевості на приймаючій ТВ-станції було відновлено правильно, тобто розташування елементів кожного рядка прийнятого зображення відповідало переданому, переміщення променя в приймальній і передавальній трубках точно узгоджується. Для цього в

телевізійну систему включені пристрої синхронізації розгортки передавальної станції і приймальної. Таким чином, у кожен мить передається і відтворюється однаково розташований елемент зображення в передавальній і приймальній трубках. Це другий принцип телевізійної передачі зображень.

Телевізійні розгортки зображення розрізняють по способах побудови растра. Растр на кадрі утворює сукупність траєкторій променя, що розгортається. У розвідувальних телевізійних системах можуть застосовуватися одно рядкова і багаторядкова однокадрова розгортка для передачі нерухомих зображень, а також багатокадрова рядкова розгортка, що дозволяє передавати рух об'єктів.

У даний час прийнято виражати інформативність зображення лінійною розрізненістю на місцевості  $R_M$ , яке зручно і досить повно характеризує якість зображення. Воно безпосередньо зв'язує масштаб зображення з розрізненною здатністю системи, які у свою чергу знаходяться у взаємозалежності з такими характеристиками зображення, як контраст, розмір і різкість, якість обробки фотоматеріалів та інших носіїв інформації. Лінійна розрізненість на місцевості виражається в метрах, що приходяться на один чорний чи білий штрих міри. Практично воно показує розмір мінімального об'єкта чи його деталі, що зображуються на телевізійному знімку роздільно. Розрізненість на місцевості  $R_M$  дає наочне уявлення про реальну детальну здатність системи спостереження і, отже, про дешифрувальні властивості зображення [23].

### **3.2.3. Принципи формування радіолокаційних зображень місцевості**

В останні десятиліття радіолокаційне спостереження за земною поверхнею набуло широкого використання. Перевагами радіолокаційного спостереження у порівнянні з оптико-електронним є незалежність від часу доби, освітленості

земної поверхні, метеорологічних умов і можливість ведення спостереження на великих відстанях. Однак слід відмітити і недоліки радіолокаційного спостереження – потреба у відносно великій потужності бортових джерел електричної енергії для формування зондувального сигналу та складність забезпечення, у зв'язку із активним зондуванням, скритності радіолокаційного спостереження. Одним із основних недоліків радіолокаційних засобів вважалося їх низька розрізненність. Проте використання радіолокаторів із синтезованою апертурою (РСА) дозволило наблизити інформаційні можливості радіолокаційних засобів до оптико-електронних [30-33].

Бортові РЛС зі штучним розкритвом антени характеризуються високою розрізненністю по кутовій координаті і дальності. Вони забезпечують можливість спостереження малорозмірних цілей (танків, автомобілів, літаків та ін.) на великих дальностях. Їх застосовують для складання топографічних карт земної поверхні, одержання геологічних профілів, проведення геофізичних досліджень, агрономічних спостережень і т.д.

Принцип дії РСА оснований на використанні переміщення бортової антени радіолокаційної станції з метою послідовного формування синтезованої апертури великих розмірів. При цьому кожне положення реальної бортової антени в момент випромінювання і прийому зондувального сигналу береться за елемент синтезованої антенної решітки (рис.3.11).

При аналізі характеристик РСА припускають, що бортова антена рухається рівномірно і прямолінійно на постійній висоті над землею поверхнею, яку для простоти вважають плоскою. Розкриття антени в даному випадку формується як ділянка траєкторії носія радіолокаційної станції. Розмір даної ділянки обмежений можливим часом накопичення відбитих землею поверхнею сигналів та визначається когерентністю зондувального сигналу. У результаті синфазного складання прийнятих сигналів здійснюється стиснення антенного променя і підвищення розрізненності радіолокаційної станції уздовж лінії руху носія РЛС.

Якщо в складі бортового спеціального комплексу космічного апарату, що рухається з поступальною швидкістю  $V_{КА}$ , є РЛС, промінь якої направлений

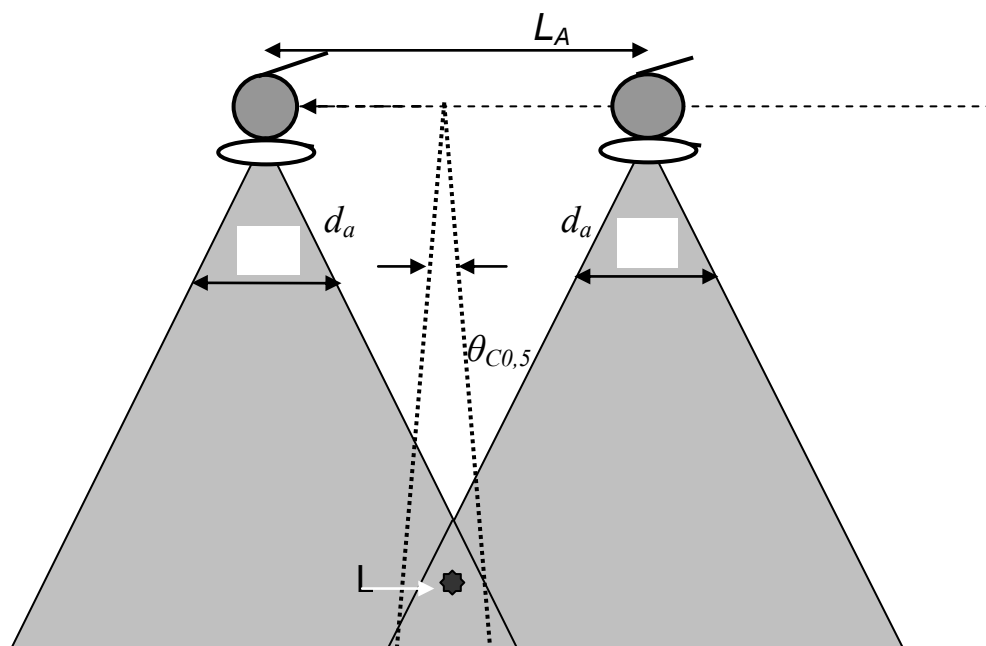


Рис.3.11. Принцип стискання діаграми спрямованості РСА



Рис.3.11. Принцип стискання діаграми спрямованості РСА

$$L_A = r_0 \cdot \lambda / d_a, \quad T_{\text{Д}} = r_0 \cdot \lambda / V_{КА} \cdot d_a. \quad (3.6)$$

В процесі польоту космічного апарату з бортовим РСА відстань між ним та ціллю (об'єктом локації) буде зменшуватись при наближенні КА до траверзу цілі, а потім зростати. Тому за час прийому сигналу, його частота  $f_{\text{ПР}}$  буде змінюватися внаслідок ефекту Доплера від  $f_3 + F_{\text{Dmax}}$  до  $f_3 - F_{\text{Dmax}}$ , де максимальне доплерівське зміщення частоти  $F_{\text{Dmax}} \cong V_{КА} \cdot \theta_{0,5} / \lambda = V_{КА} / d_a$ , а  $f_3$  – частота зондувального сигналу. Якщо в РЛС реалізовано безперервний режим

випромінювання, то сигнал, що прийшов від цілі, є імпульсом з тривалістю  $T_{ОПР}$  та зміною частоти на величину

$$\Delta f = 2 \cdot F_{\dot{a}_{\max}} = 2 \cdot V_{КА} / d_a . \quad (3.7)$$

Подібний імпульс при оптимальній обробці можна стиснути за тривалістю в  $\tau_{сж} = \Delta f \cdot T_{ОПР}$  раз.

Тривалість стиснутого імпульсу дорівнює:  $\tau_{сж} = 1/\Delta f = d_a / 2 \cdot V_{КА}$ , що відповідає переміщенню цілі відносно КА вздовж лінії польоту на  $0,5 \cdot d_a$ . Отже, при оптимальній обробці прийнятого сигналу будуть розрізнятися точкові цілі, розташовані на прямій, паралельній лінії шляху КА, на відстані більше  $0,5 \cdot d_a$  одна від одної. Це еквівалентне тому, що ширина променя синтезованої антени стане дорівнювати

$$\theta_{c0,5} = d_a / 2r_0 . \quad (3.8)$$

Відношення ширини променя реальної антени РЛС до ширини променя синтезованої антени складає:  $\theta_{0,5} / \theta_{c0,5} = 2 \cdot r_0 \cdot \theta_{0,5}^2 / \lambda$ .

При збільшенні дальності до цілі  $r_0$  розмір  $L_A$  синтезованої антени збільшується, але так як ширина її променя зменшується зворотно пропорційно  $L_A$ , то розрізненна відстань вздовж лінії шляху КА залишається постійною незалежно від  $r_0$ . Зміна дальності до цілі  $r_0$  впливає на тривалість прийнятого сигналу, потужність і швидкість  $V_f$  зміни його частоти. На малій відстані  $r_1$  час опромінювання цілі  $T_{ОПР}$  малий, а швидкість зміни частоти велика (рис. 3.12); при збільшенні відстані до цілі ( $r_2 > r_1$ ) тривалість сигналу  $T_{ОПР}$  зростає, а швидкість зміни частоти зменшується. Для досягнення ефекту синтезування необхідно змінювати характеристики оптимального фільтру в залежності від дальності до цілі, яка спостерігається. За аналогією з оптичною термінологією

говорять, що РЛС повинна фокусуватися по дальності. Усі наведені вище формули відносяться до фокусованих РЛС.

При використанні когерентно-імпульсної РЛС можна забезпечити високу розрізненість одночасно і по дальності (мала тривалість імпульсів), і по

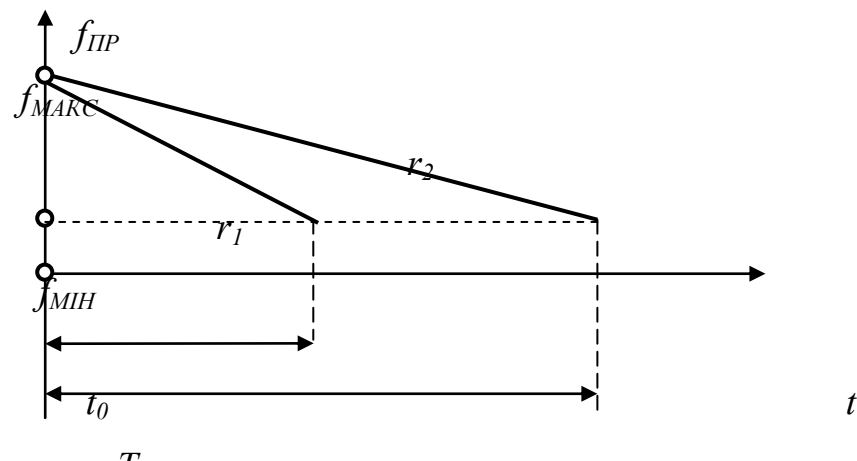


Рис.3.12. Зміна частоти сигналів в РЛС зі штучним розкритвом

кутовій координаті (синтезування). Спрощена схема системи оптимальної обробки імпульсних сигналів у фокусованій РЛС приведена на рис.3.13.

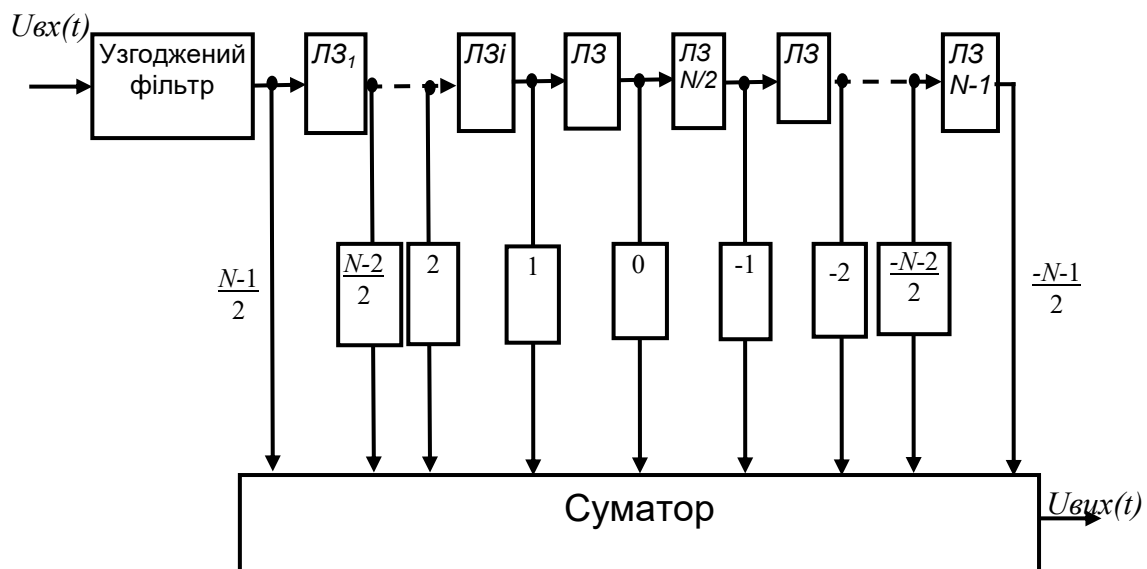


Рис.3.13. Структура системи оптимальної обробки прийнятих сигналів РСА

Вхідним елементом є фільтр, узгоджений з одиничним високочастотним сигналом. Потім є  $N-1$  послідовно включених ліній затримки (ЛЗ). Час затримки кожної лінії дорівнює періоду  $T_{II}$  проходження імпульсів РЛС, а  $N$  являє собою число прийнятих від точкової цілі імпульсних сигналів, що залежить від дальності до цілі. Від ліній затримки є відводи до суматора. В кожному відводі встановлюється коригувальна ланка  $i$ , за допомогою якої здійснюється необхідна затримка (фазовий зсув) сигналу перед додаванням. Час затримки сигналу в  $i$ -му відводі дорівнює

$$\tau_i = \left[ (0,5 \cdot N - 0,5)^2 - i^2 \right] \cdot V_{KA}^2 \cdot T_I^2 / \tilde{n} \cdot r_0. \quad (3.9)$$

Необхідність такої корекції пов'язана з переміщенням прийомної антени. Поточна дальність до цілі  $r$  визначається співвідношенням

$$r = \left[ r_0^2 + (V_{KA} \cdot t)^2 \right]^{0,5} \approx r_0 + 0,5 \cdot (V_{KA} \cdot t)^2 / r_0, \quad (3.10)$$

де за початок відліку часу ( $t = 0$ ) приймається момент знаходження цілі на траверзі.

За період  $T_{II}$  проходження імпульсів зміна дальності складає:

$$\Delta r = 0,5 \cdot V_{KA}^2 \cdot T_I^2 / r_0, \quad (3.11)$$

а відповідна затримка в часі дорівнює:

$$\Delta \tau = V_{KA}^2 \cdot T_I^2 / cr_0. \quad (3.12)$$

За  $i$  періодів проходження затримка складе  $i^2 \cdot V_{КА}^2 \cdot T_{П}^2 / c \cdot r_0$ . Для оптимального додавання високочастотних сигналів потрібно вирівняти їх початкові фази. Саме для цього вводяться часові затримки  $\tau_i$  за допомогою відповідних ліній затримки. На виході суматора пачка  $N$  імпульсів стає стиснутою, внаслідок чого досягається висока розрізненість за кутовими координатами [31].

Потенційна лінійна розрізненість РСА уздовж траєкторії польоту КА дорівнює

$$\delta_{az} = d_a / 2, \quad (3.13)$$

$i$  не залежить від довжини хвилі та дальності до об'єктів, за якими ведеться спостереження.

У зв'язку з цим довжина хвилі може бути вибрана виходячи з умов поширення радіохвиль в атмосфері Землі та обмежень з технічної реалізації. При цьому слід враховувати:

- рефракцію радіохвиль в атмосфері;
- поглинання (послаблення) радіохвиль атмосферними газами;
- послаблення і розсіювання радіохвиль мікрочастками та гідрометеорами;
- відбиття від об'єктів, що не спостерігаються в оптичному діапазоні.

Рефракційні явища в ділянці спектра нижче 100 ГГц практично не залежать від частоти. Поглинання радіохвиль атмосферними газами починає впливати на характеристики РСА, що працюють на частотах вище 10 ГГц. Проте послаблення в хмарах і в дощі повинно враховуватися у всьому діапазоні частот вище 1 ГГц. Використання низькочастотних радіохвиль для задач радіолокації з космосу обмежене через відбиття та розсіювання їх неоднорідностями іоносфери та тропосфери. Таким чином існує "вікно прозорості" атмосфери в діапазоні частот 0,5-10 ГГц. Враховуючи наявність в Україні розробленої апаратури для радіолокатора бокового огляду, частота сигналу якого 10 ГГц, досить просто буде реалізувати її на РСА.

Як слідує з виразу (3.13), розрізненність РСА за азимутом збільшується зі зменшенням розміру реальної антени. Це пояснюється тим, що зі зменшенням реальної антени збільшується розмір синтезованого розкриву, який визначається лінійною шириною діаграми спрямованості бортової антени на заданій дальності. Проте значне зменшення розміру антени призведе до суттєвого зниження коефіцієнта спрямованої дії та коефіцієнта підсилення антени. На РСА пропонується використовувати дзеркальні антени з косекансною діаграмою спрямованості. Для таких систем раціональною буде діаграма спрямованості, що забезпечує постійний рівень сигналу, відбитого від цілей, які знаходяться на різній нахильній дальності на поверхні землі. Діаметр антени пропонується вибрати 1-2 м, що дозволить отримати розрізненність за азимутом до 1м. Такої розрізненності достатньо для виявлення та визначення типу більшості військових об'єктів, зразків техніки та споруд, що дозволить визначати моделі літаків, підводних човнів в надводному стані, мостів, аеродромів тощо.

Розрізненність за дальністю знаходиться за формулою

$$\delta_R = c \cdot \tau_i / 2. \quad (3.14)$$

Для забезпечення розрізненної здатності за дальністю не гірше 1 м, слід випромінювати зондувальний сигнал з тривалістю імпульсу 1,67 нс, що недоцільно через низькі енергетичні показники (час та енергію опромінення цілі або ділянки місцевості). Відомим методом забезпечення достатньої розрізненної здатності при використанні тривалих сигналів є широкосмугова лінійно-частотна або кодофазоманіпульована модуляція сигналів. Для РСА справедливе наступне співвідношення

$$\delta_R = \frac{1,4 \cdot c}{\pi \cdot \Delta F}, \quad (3.15)$$

де  $\Delta F$  – ширина спектра зондувального сигналу;

$c$  – швидкість розповсюдження електромагнітних хвиль,  $3 \cdot 10^5$  км/с.

З виразу (3.15) слідує, що для забезпечення розрізненості за дальністю 1 м необхідно випромінювати сигнали з шириною спектра близько 133 МГц. Тому при жорстких апаратурних обмеженнях доцільно занизити розрізненість за дальністю.

Має місце ряд причин через які потенційну розрізненість РСА (3.13) важко досягти, особливо при реалізації РСА на борту космічного апарата. Розглянемо основні з них.

Відстань між сусідніми елементами синтезованої антенної решітки  $d_a$  дорівнює шляху, який проходить КА за час, що дорівнює періоду слідування зондувальних імпульсів  $T_{II}$

$$d_a = V_{КА} \cdot T_{II}, \quad (3.16)$$

де  $V_{КА}$  – швидкість руху КА.

Для виконання умови однозначності за азимутом для простих зондувальних сигналів потрібно, щоб  $d_a = V_{КА} \cdot T_{II}$ , звідки знаходимо обмеження, які накладаються на період слідування зондувальних імпульсів

$$T_{II} \leq d_a / V_{КА}. \quad (3.17)$$

Наприклад, для КА з висотою орбіти 650 кілометрів і горизонтальним розкритом бортової антени 2 метри  $T_{II} < 264$  мкс.

З іншого боку, для забезпечення однозначності оцінки дальності слід забезпечити виконання вимоги [31]

$$T_{II} \geq 2R_{i\ddot{a}e\ddot{n}} / \ddot{n}, \quad (3.18)$$

де  $R_{\text{макс}}$  – максимальна дальність дії РСА.

При вимогах до дальності дії РСА та куті візування  $60^0$  для висоти КА 650 кілометрів  $T_{II} \geq 10,7$  мс.

Таким чином, вимоги (3.17) і (3.18) є несумісними.

Забезпечити одночасно однозначність за азимутом і за дальністю можна декількома шляхами:

збільшити реальний розмір бортової антени  $d_a$ , проте це технічно складно реалізується та призводить до погіршення розрізненості РСА;

розширити спектр зондувального сигналу і збільшити час формування синтезованого розкриву антени.

Розглядаючи область невизначеності траєкторного сигналу при імпульсному режимі роботи РСА формулу (3.17) можна подати у вигляді

$$T_I \leq \frac{\Delta F}{f_c} \cdot T_c, \quad (3.19)$$

де  $T_c$  – час синтезування апертури антени;

$f_c$  – частота зондувального сигналу.

Через вплив негативних факторів реального польоту КА час формування синтезованого розкриву обмежений одиницями секунд. Використання широкосмугових сигналів є більш перспективним і сучасні технології дозволяють в більшості випадків забезпечити необхідну ширину спектра зондувального сигналу ( $\Delta F > 110$  МГц).

Для РСА характерним є боковий огляд поверхні Землі (рис.3.14) з кутами візування РСА від  $\beta_{\text{мін}} = 30^0$  до  $\beta_{\text{макс}} = 60^0$ . Тоді, для висоти КА  $H_{КА} = 650$  кілометрів, можна розрахувати ширину смуги огляду  $L_{CM}$ , мінімальну і максимальну дальність дії РСА  $R_{\text{мін}}$  та  $R_{\text{макс}}$

$$L_{CM} = \frac{\pi R_3}{180} \cdot \left[ \beta_{\min} - \beta_{\max} - \arcsin \frac{(H_{KA} + R_3) \cdot \sin \beta_{\max}}{R_3} + \right. \\ \left. + \arcsin \frac{(H_{KA} + R_3) \cdot \sin \beta_{\min}}{R_3} \right] , \quad (3.20)$$

де  $R_3$  – середній радіус Землі рівний 6371 км;

$$R_{\min} = \sqrt{H_{KA}^2 + (H_{KA} + R_3)^2 - 2 \cdot H_{KA} \cdot (H_{KA} + R_3) \cdot \cos \left[ \arcsin \frac{(H_{KA} + R_3) \cdot \sin \beta_{\min}}{R_3} \right]} \quad (3.21)$$

$$R_{\max} = \sqrt{H_{KA}^2 + (H_{KA} + R_3)^2 - 2 \cdot H_{KA} \cdot (H_{KA} + R_3) \cdot \cos \left[ \arcsin \frac{(H_{KA} + R_3) \cdot \sin \beta_{\max}}{R_3} \right]} \quad (3.22)$$

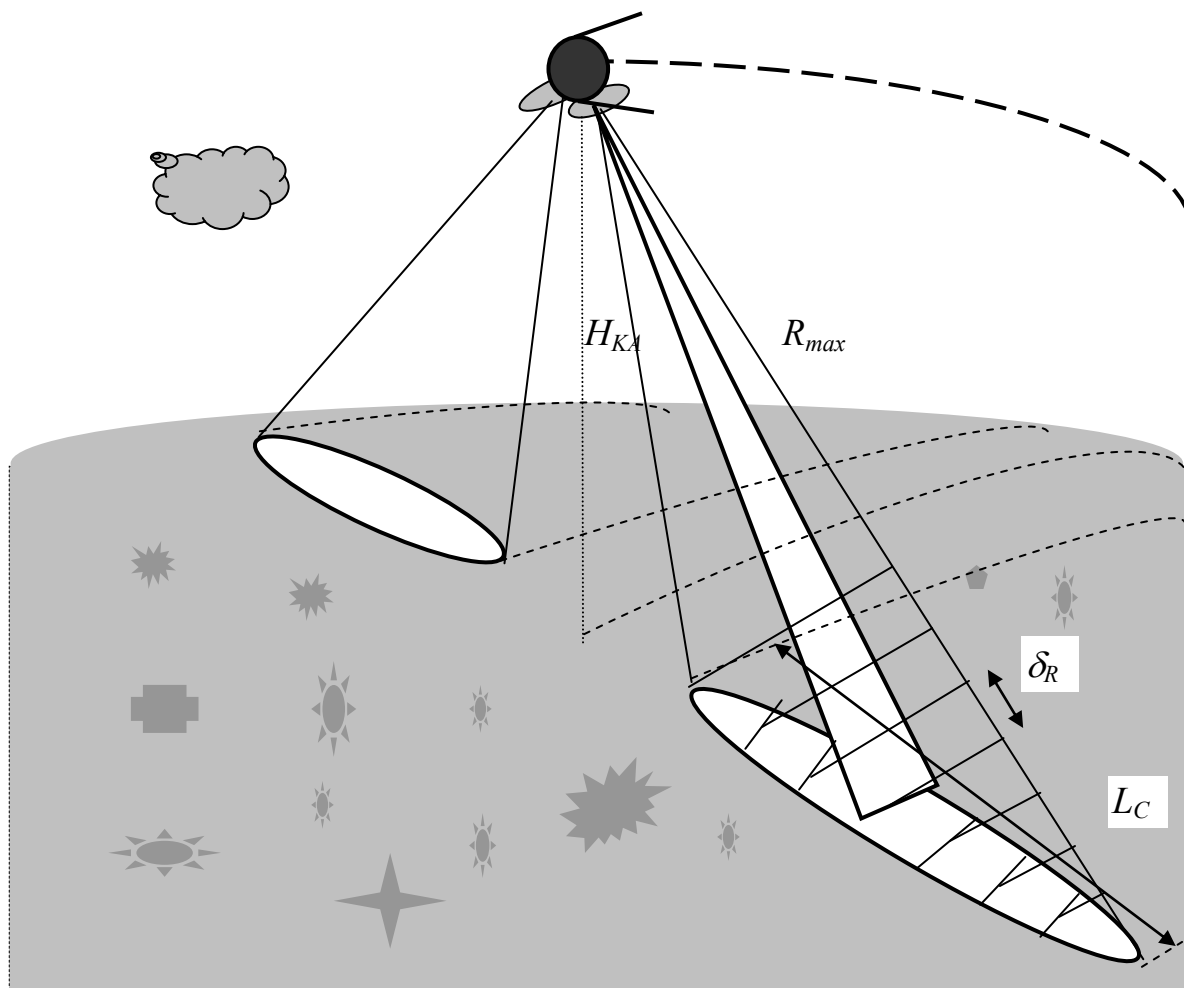


Рис.3.14. Принцип огляду поверхні Землі космічним РСА

За формулами (3.20-3.22) знайдемо  $L_{cm} = 1020$  км,  $R_{min} = 764,6$  км та  $R_{max} = 1607,3$  км.

Для забезпечення даних вимог до розміру смуги зйомки району спостереження слід йти на штучне зниження вимог до розрізненості. Так при наявності  $10^4$  каналів за дальністю для забезпечення розміру кадру  $30 \times 30$  км розрізненість складатиме 3 м, а розміру кадру  $100 \times 100$  км – 10 м.

Принциповою вимогою до РСА є висока амплітудно-фазова стабільність параметрів приймально-передавального тракту. У найпростішому випадку когерентність тракту забезпечується високою стабільністю частоти

випромінюваного сигналу і сигналу гетеродину при постійній амплітуді цих сигналів.

Когерентне накопичення сигналів проводиться в кожному каналі по дальності. При сучасних вимогах до смуги огляду за дальністю і розрізненістю слід мати декілька тисяч каналів по дальності. При цьому рекомендується реалізувати декілька режимів роботи РСА в залежності від потрібної розрізненості. Швидкодія системи обробки повинна бути достатньо високою, щоб забезпечити обробку інформації по мірі прольоту місцевості.

Так при частоті повторення імпульсів 100 Гц і кількості каналів по дальності  $10^4$  швидкість роботи обчислювального пристрою повинна бути більше  $10^8$  операцій за секунду.

За допомогою РСА отримують радіолокаційні зображення високої якості, проте обробка сигналів РСА потребує великих обчислювальних витрат. Ця проблема вирішувалася раніше використанням оптичної системи обробки сигналів з реєстрацією радіолокаційного зображення на фотоплівці. При цьому оперативність доставлення інформації до споживача була дуже низькою. Крім того, це значно обмежувало можливість використання РСА на борту КА. Розвиток обчислювальних засобів та необхідність впровадження радіолокаторів з синтезованою антеною на космічних апаратах привели до розвитку цифрової обробки і цифрового управління РСА.

Головною перевагою радіолокаторів з цифровим синтезуванням апертури антени є оперативність, тобто можливість отримання зображення, в тому числі і на борту КА, практично в реальному масштабі часу. Крім того, цифрова обробка сигналів дозволяє розв'язати ще ряд задач, основними з яких є: оперативне управління режимами роботи РСА із змінами дальності та кута спостереження зони огляду, а також розрізненості; спрощення компенсації впливу траєкторних нестабільностей; автоматичне виявлення і визначення за радіолокаційним знімком координат об'єктів, розміщених на ділянках місцевості, за якими ведеться спостереження. Перехід до цифрової обробки

сигналів дає можливість істотно знизити масогабаритні характеристики РСА та підвищити експлуатаційну надійність, що є дуже важливим для РСА космічного базування.

Важливим параметром передавального пристрою бортової РЛС є потужність випромінюваного сигналу. Досвід застосування іноземних КА з РСА (наприклад "Lacrosse") показав, що на орбітах в діапазоні висот 650-700 км необхідно забезпечити імпульсну потужність випромінювання 5-10 кВт, або середню потужність випромінювання 200-500 Вт.

### **3.3. Структурно-логічна послідовність операцій оптико-електронного космічного спостереження**

Оптико-електронні засоби космічного спостереження створюють найкращу просторову розрізненість зображень, тобто забезпечують найкращу їх детальність для вирішення завдань інформаційного забезпечення рішення різних завдань. Тому основну увагу приділимо технології оптико-електронного спостереження. Розглянемо операції добування видової космічної інформації на прикладі системи оптико-електронного спостереження, яка має в своєму складі Центр координації і планування (ЦКП), Центр управління польотами (ЦУП) космічних апаратів, пункт прийому і обробки спеціальної інформації (ППОСІ), програмно-технічні засоби обробки цифрової видової інформації, один космічний апарат (КА) видового оптико-електронного спостереження та засоби інформаційного зв'язку між вказаними структурами [12]. Це мінімально необхідний склад космічної системи оптико-електронного спостереження. Структурно-логічна послідовність операцій видового космічного оптико-електронного спостереження такою системою наведена на рис.3.15. Цикл функціонування системи космічного спостереження складається з трьох

суттєво відмінних етапів: планування проведення космічної спостереження оптико-електронними засобами (операції 1-5); космічна зйомка району (об'єкту) спостереження та передача спеціальної інформації з космічного апарата на наземні засоби (операції 6-7); прийом та обробка спеціальної інформації і документування та видача зацікавленим інстанціям результатів космічного спостереження (операції 8-12).

Розглянемо зміст основних операцій космічного оптико-електронного спостереження. Просторова ілюстрація операцій оптико-електронного спостереження на прикладі зйомки території України наведена на рис.3.16.

Постановка задачі на проведення оптико-електронного космічного спостереження. Довгострокові завдання системі космічного спостереження визначаються у відповідних директивах. Термінові задачі, які виникають у зв'язку із змінами оперативної обстановки, видаються окремими оперативними директивами.

Завдання на проведення космічного оптико-електронного спостереження мають включати такі дані:

- координати об'єкта (району) спостереження та його розміри;
- необхідну розрізненну здатність (детальність) спостереження;
- вид зйомки (площинна, детально-точкова та ін.);
- режим зйомки (панхроматичний трасовий, панхроматичний кадровий, багатоспектральний, гіперспектральний, стереоскопічний кадровий);
- строк виконання зйомки, її періодичність і пріоритетність та ін.

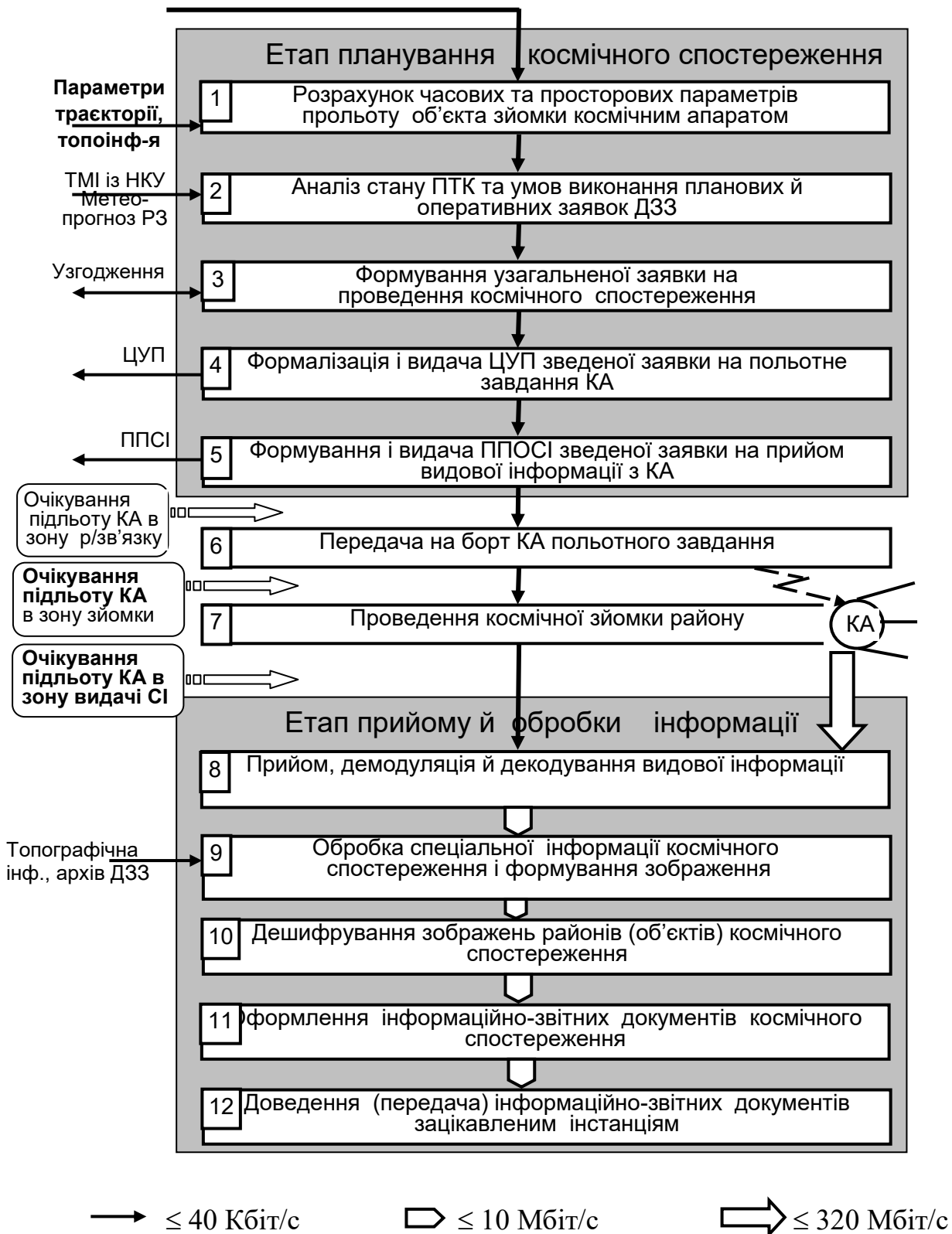


Рис.3.15. Структурно-логічна послідовність операцій

Після отримання задачі Центр координації та планування починає етап планування космічно спостереження. Планування та організація проведення оптико-електронного космічного спостереження полягає в упорядкуванні планових та оперативних розпоряджень (заявок) і організації використання інформаційного ресурсу космічної системи для їх виконання. Детальніше це означає наступне.

Розрахунок часових та просторових параметрів польоту об'єкта зйомки космічним апаратом. На основі просторово-часових параметрів траєкторії польоту КА спостереження розраховується час до найближчих моментів покриття зоною огляду його бортового спеціального комплексу району (об'єкта) зйомки (оцінюється через який час та коли КА пролітатиме над районом), відстань об'єкта від площини траєкторії польоту КА, час доби й пори року та можливість забезпечення строку виконання заявки. Максимально можливий кут відхилення оптичної осі бортової апаратури спостереження від надиру становить  $\pm (30-50)^\circ$ , що відповідає відхиленню на поверхні Землі  $\pm (300-900)$  км від площини траєкторії. Період можливої зйомки одного й того ж району бортовими засобами КА не перевищує періоду повторення траси польоту (за наявності необхідних метеорологічних умов).

#### **Аналіз стану програмно-технічного комплексу та умов виконання планових й оперативних заявок ДЗЗ.**

Оцінюється програмно-технічний комплекс (ПТК) та стан космічної системи спостереження взагалі:

можливість наземного комплексу управління щодо проведення радіопередачі на бортові засоби КА польотного завдання і прийому траєкторної та телеметричної інформації бортового програмно-технічного комплексу;

можливості бортового програмно-технічного комплексу щодо забезпечення орієнтації КА, наведення апаратури спостереження на район розташування об'єкта зйомки, накопичення та передачі видової інформації;

можливості програмно-технічних засобів наземного спеціального комплексу з прийому видової інформації.

Оцінюється стан району (об'єкта) зйомки та підстильної поверхні, його захищеність від космічного спостереження та демаскуючі ознаки, очікувана радіоелектронна обстановка та інше. Для проведення такої оцінки необхідна інформація про попередні спостереження району (об'єкта) та фізико-географічна інформація (із картографічних установ) району зйомки.

Робиться прогнозна оцінка метеорологічних умов проведення зйомки замовленого об'єкта (очікувана хмарність, видимість, гроза, туман та ін.). Така інформація може бути отримана з міжнародних метеослужб, через Internet, з метеослужб цивільної авіації, або з метеослужб інших структур України. Дані джерела мають прогнозовану гідрометеорологічну інформацію на 4-10 діб.

**Формування узагальненої заявки на проведення космічного спостереження.** Це передбачає складання плану проведення зйомки за оперативними та поточними заявками з урахуванням послідовності прольоту об'єктів спостереження, їх пріоритетів, інформаційних, енергетичних і технічних можливостей елементів космічної системи спостереження та умов проведення зйомки.

У процесі формування зведеної заявки може виникнути потреба узгодження її із замовником. Наприклад, в строк, визначений оперативною заявкою, очікуються незадовільні погодні умови (хмарність, низька видимість, гроза чи інше), накладення у часі заявок одного пріоритету й т.п.

**Формалізація і видача ЦУП зведеної заявки на польотне завдання КА.** Центр координації та планування здійснює формування й видачу Центру управління польотами зведеної заявки. Зведена заявка передбачає корекцію плану функціонування космічної системи спостереження та підготовку ЦУПом польотного завдання КА з урахуванням узгодження із замовником. Формування зведеної заявки передбачає її формалізацію згідно з узгодженим протоколом обміну інформацією. При цьому є доцільною потреба надавати кожному

заявленому об'єкту зйомки номер квитанції (коду, шифру). Ця квитанція повинна супроводжувати видову космічну інформацію заявленого об'єкта в процесі її планування, добування, обробки й передачі як складова її паспорта.

### **Формування і видача Пункту прийому й обробки спеціальної інформації (ППОСІ) зведеної заявки на прийом видової інформації з КА**

Така заявка повинна мати прогнозовані дані про час й координати положення КА на момент початку сеансу прийому спеціальної інформації з борту КА по лінії КА ↔ ППОСІ, номер квитанції, очікуваний об'єм інформації й заявник (споживач) інформації та інше.

Цим закінчується етап планування роботи елементів космічної системи спостереження для виконання оперативних і планових заявок на проведення видової космічної зйомки. Перепускна здатність ліній інформаційного зв'язку управління між вказаними елементами космічної системи спостереження й заявником повинна забезпечувати продуктивність до 30-40 Кбіт/с. Такі вимоги здатні забезпечити лінії цифрового телефонного зв'язку.

**Передача на борт КА польотного завдання.** Після отримання Центром управління польотами формалізованої зведеної заявки на проведення космічної зйомки ним формується польотне завдання для КА й передається на командно-вимірювальний комплекс (КВК). При цьому може виникнути потреба очікування підльоту космічного апарата в зону радіозв'язку КВК ↔ КА. Час очікування може досягати 12 годин. Польотне завдання в екстремальній ситуації може бути передане на борт КА не менше ніж за декілька хвилин до прольоту об'єкта зйомки, який знаходиться в межах зони радіозв'язку. Цей час необхідний на аналіз інформації й орієнтацію оптичної осі апаратури спостереження в напрямку об'єкта зйомки в сторону від підсупутникової точки КА.

**Проведення космічної зйомки району спостереження.** Після передачі польотного завдання на борт КА може утворитись пауза до початку зйомки. Вона зумовлена потребою очікування підльоту космічного апарата в район

зйомки й може загалом досягти (при наявності необхідних метеорологічних умов космічного спостереження) періоду повторення траси КА. Момент зйомки визначається часом коли космічний апарат спостереження появиться у районі де його підсупутникова точка буде знаходитись на мінімальній відстані від об'єкта спостереження. Прогнозні розрахунки здійснюються за програмно-часовим методом. При підльоті КА до району зйомки оптична вісь бортової оптико-електронної апаратури спостереження (ОЕАС) орієнтується на центр об'єкта. У момент коли оптична вісь співпадає з межею району починається зйомка. У залежності від режиму зйомки може здійснюватися окреме одиничне знімання, знімання декількох окремих районів, послідовне знімання смуги поверхні або кадру та ін. Продуктивність бортової оптико-електронної апаратури зйомки може сягати 800 Мбіт/сек. Цифрове зображення, що формується бортовою апаратурою зйомки, доповнюється цифровою інформацією бортового часу, ефемерид КА, стану бортової апаратури, параметрів калібрування апаратури спостереження і каналу передачі інформації та ін.

Після проведення зйомки об'єкта спостереження космічний апарат орієнтується в орбітальній системі координат з метою підготовки до процесу передачі видової інформації на наземні ППОСІ. При цьому може виникнути третя пауза, зумовлена потребою очікування підльоту КА в зону радіозв'язку КА ↔ ППОСІ. Ця пауза може досягати 10-12 годин за наявності тільки одного ППОСІ. Потім починається етап прийому й обробки інформації космічного спостереження.

**Прийом, демодуляція й декодування видової інформації.** Коли космічний апарат, бортовий спеціальний комплекс якого здійснив зйомку і накопичив спеціальну інформацію, попадає у зону радіовидимості ППОСІ, процес її передачі може початись зразу ж або з деякою затримкою у відповідності із польотним завданням КА. На момент початку сеансу радіозв'язку КА ↔ ППОСІ, антена наземної станції прийому орієнтується у точку

прогнозованого положення КА, встановлюється зв'язок через інформаційну радіолінію й починається передача накопиченої видової інформації. Тривалість сеансу передачі інформації  $t_i$  залежить від її об'єму  $V_i$  й продуктивності  $P_{\text{л}}$  лінії інформаційного зв'язку,  $t_i = V_i / P_{\text{л}}$ . Продуктивність сучасних радіоліній передачі цифрової спеціальної інформації  $P_{\text{л}} = 8\text{-}320$  Мбіт/сек. Прийом полягає у просторовому й частотному виділенні радіосигналів з шумів та переносу спектра сигналу з діапазону несучих високих частот на проміжну частоту. На проміжній частоті проводиться демодуляція сигналів інформації космічного спостереження. У результаті отримуємо один або декілька цифрових потоків послідовного коду, що має в своєму складі інформацію зображень, службову інформацію та паспортну інформацію повідомлень, яка конвертована згідно з протоколом обміну. Далі проводиться розконвертування інформації за приладами та спектральними каналами спостереження, декодування її, виділення телеметричної інформації, аналіз й відновлення зіпсованих рядків растра цифрового зображення. Після цього цифрова інформація зображення архівується як первинна та через широкосмугову мережу передається на засоби обробки.

**Обробка спеціальної інформації космічного спостереження і формування електронного зображення** полягає у радіометричній і геометричній корекції, картографуванні та формуванні цифрових зображень.

Радіометрична корекція забезпечує коригування зображень з урахуванням нелінійності каналу формування зображення, радіоканалу передачі інформації та приймального каналу наземної станції ППОСІ.

Геометрична корекція передбачає коригування спотворень знімка (зображення), що зумовлені сферичністю поверхні Землі, відхиленням оптичної осі телескопа від місцевої вертикалі об'єкта зйомки та інше. Для проведення такої корекції з метою порівняння може використовуватись інформація космічного спостереження, що отримана раніше і зберігається в архіві.

Картографічна обробка зображень передбачає трансформацію знімків у стандартні картографічні проекції, визначення меж ділянок космічної зйомки та топографічну прив'язку координат знімка, нанесення карти, координатної сітки й написів.

Для точної топографічної прив'язки знімків потрібно використовувати наземні контрольні точки. Інші способи топографічної прив'язки забезпечують меншу точність (мають більші похибки). Картографічна інформація може бути отримана з топографічних закладів України або з Internet.

Скоригована й оброблена інформація цифрових зображень стискується, чим досягається зменшення її об'єму, й формується для зберігання в архіві. При цьому вносяться доповнення в каталог архіву, який може бути тематичним чи складеним за географічними координатами. Ця інформація може передаватись для поповнення архіву, якщо нема обмежень замовника на її розповсюдження.

**Дешифрування зображень районів (об'єктів) космічного спостереження.** Процес дешифрування полягає у виявленні та розпізнаванні топографічних елементів місцевості й розташованих на ній об'єктів за їх зображеннями (фотографічному, телевізійному, тепловому, радіолокаційному, голографічному та ін.), а також у визначенні їх кількісних та якісних характеристик. При цьому здійснюється виділення меж і контурів наземних об'єктів, автоматизоване дешифрування окремих об'єктів, автоматизоване суміщення зображень одної і тієї ж місцевості, що отримані різними засобами і в різний час, виявлення і розпізнавання об'єктів та змін їх стану, вимірювання лінійних, кутових та площинних характеристик об'єктів. Вихідною продукцією космічної системи оптико-електронного спостереження являються цифрові знімки поверхні Землі у різних спектральних діапазонах, що пройшли нормалізацію, забезпечені анотаційною інформацією, а також база даних первинних цифрових знімків, які слід зберігати тривалий час.

**Оформлення інформаційно-звітних документів космічного спостереження.** Дешифрування зображень завершується розробкою

інформаційно-звітному документу визначеної форми, або нанесенням даних на фотосхему, великомасштабну карту або схему. Опис результатів дешифрування оформляється у вигляді текстових, табличних та графічних документів.

**Доведення (передача) інформаційно-звітних документів зацікавленим інстанціям.** Інформаційно-звітні документи космічного спостереження можуть оформлятися на папері, або в електронному вигляді на магнітних носіях і доводиться зацікавленим інстанціям доставкою, у залежності від їх терміновості, секретності та наявних можливостей: фельд'єгеським поштовим зв'язком, нарочним або електронними засобами передачі інформації. Значно кращу оперативність доведення інформаційно-звітних документів космічного спостереження забезпечують сучасні електронні засоби передачі інформації – електронна пошта та факсимільний зв'язок. Будь-який із вказаних методів доставки інформаційно-звітних документів повинен забезпечувати їх оперативність надійність та конфіденційність.

## **4. КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ**

### **4.1. Загальна характеристика космічних систем ДЗЗ**

Під космічною системою (КС) розуміють сукупність узгоджено діючих функціонально взаємопов'язаних космічних апаратів та наземних технічних засобів, призначених для вирішення цільових завдань [9].

Космічна система ДЗЗ у своєму складі має космічний комплекс та наземний інформаційний комплекс (НІК). Космічний комплекс спостереження – це сукупність функціонально взаємопов'язаних орбітальних і наземних засобів, призначених для самостійного вирішення спеціальних завдань з космосу чи для забезпечення виконання таких завдань у складі космічної системи спостереження. До складу космічного комплексу входять: космічний апарат (КА) або їх угруповання, ракетно-космічний комплекс, контрольно-еталонний комплекс, наземний комплекс управління (НКУ), комплекс посадки й обслуговування КА.

Космічні апарати – це складні технічні пристрої, які призначені для функціонування в космічному просторі з метою вирішення завдань відповідно до призначення космічного комплексу.

Ракетно-космічний комплекс складається з ракети чи ракет космічного призначення (РКП) із функціонально взаємопов'язаними технічними засобами і спорудами, призначеними для забезпечення транспортування, зберігання, приведення і утримання в готовності, технічного обслуговування, підготовки, пуску і контролю польоту РКП на ділянці виведення.

Під ракетою космічного призначення розуміють сукупність ракети-носія (РН) з космічною головною частиною (КГЧ), що складається із космічного

апарата разом зі збірно-захисним і розгінним блоками. Складовою частиною РКП є ракета-носіє, яка призначена для виведення КА (КГЧ) на задану орбіту. Своє активне існування ракета-носіє припиняє після виводу космічного апарату на визначену орбіту. Для підготовки і пуску РКП використовуються засоби технічного і стартового комплексів РКК. Оцінка технічного стану РКП в процесі підготовки, пуску і польоту на активній ділянці траєкторії здійснюється комплексом засобів вимірювання, збору і обробки інформації.

Наземний комплекс управління (НКУ) космічними апаратами, під яким розуміють сукупність взаємопов'язаних технічних засобів з необхідними інформаційним і математичним забезпеченням, спорудами, центром управління і командно-вимірювальними пунктами, призначений для управління КА спостереження із моменту його виведення на орбіту. НКУ різного призначення формуються із засобів наземного автоматизованого комплексу управління (НАКУ) космічними апаратами. До основних засобів НКУ відносяться засоби траєкторних і телеметричних вимірювань, видачі команд і програм управління (Центр управління польотами (ЦУП) КА, командний вимірювальний пункт (КВП)), єдина система відліку часу і синхронізації роботи апаратури космічних засобів, а також засоби обробки і відображення інформації.

Контрольно-еталонний комплекс (КЕК), що становить сукупність технічних засобів із їх інформаційним і математичним забезпеченням, призначений для контролю якості функціонування засобів бортового спеціального комплексу КА.

Комплекс посадки і обслуговування (КПО), під яким розуміють сукупність стаціонарних і мобільних технічних засобів і споруд, призначений для забезпечення посадки і післяпольотного обслуговування елементів, що повертаються з РКП при запусках КА і спуску їх на Землю. Під наземним спеціальним комплексом (НСК) спостереження розуміють сукупність взаємопов'язаних технічних засобів прийому і передачі інформації з інформаційним і математичним забезпеченням, призначених для прийому з КА спеціальної

інформації, її реєстрації, обробки, зберігання та видачі споживачам.

Таким чином системи добування і розповсюдження даних космічного спостереження базуються на таких основних складових:

- носії знімальної апаратури, у даному випадку – штучні супутники Землі (ШСЗ);
- власне апаратура дистанційного зондування;
- бортові засоби передачі даних на Землю;
- наземний інформаційний комплекс прийому цієї інформації, її обробки та надання споживачам.

Класифікація систем ДЗЗ – це розподіл їх на класи (підкласи, групи) на основі спільності однорідних суттєвих ознак (властивостей), що фіксує закономірні зв'язки між класами систем в певній галузі знань. Характеристики вказаних вище складових системи добування і розповсюдження даних космічного спостереження або їх параметрів найчастіше є основою класифікації космічних систем ДЗЗ.

За призначенням та змістом завдань, що вирішують сучасні космічні системи, їх можна поділити на наукові, військові та комерційні (рис. 4.1) [99].

В свою чергу до наукових відносять дослідницько-експериментальні пілотовані та автоматичні космічні станції, дослідницькі КА, які проводять дослідження планет та зірок, космічного та міжзоряного простору, геофізичних досліджень Землі, та експериментальні: науково-експериментальні та військово-експериментальні, за допомогою яких ведуться наукові експерименти, відпрацьовуються елементи пристроїв перспективних КА. Цей розподіл чисто умовний. На практиці більшість наукових КА є багатофункціональними, тобто вміщують в собі і дослідницькі і наукові і експериментальні пристрої.

Комерційні КА призначені для вирішення господарчих завдань, забезпечення всіх видів зв'язку та телекомунікації, сприяння безпеці руху наземних, повітряних та морських засобів. До комерційних КА можна віднести

вітчизняні КА (як правило це КА подвійного призначення, тобто тільки КА, які у випадку необхідності повністю або частково можуть бути використані для рішення завдань в інтересах збройної боротьби) та вітчизняні КА орендовані іншими державами, або запуснені в інтересах інших держав.

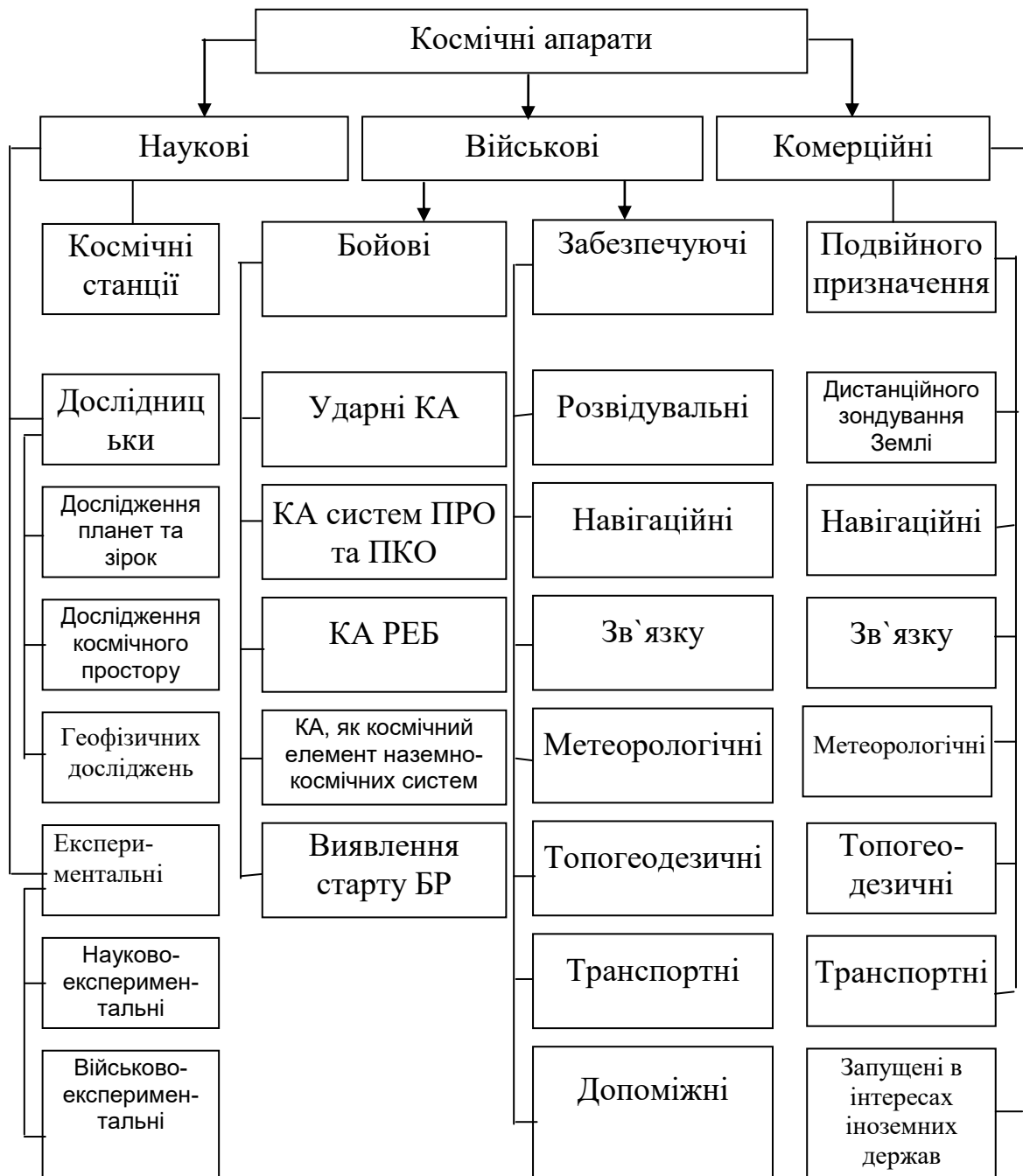


Рис.4.1. Класифікація космічних апаратів

Сукупність космічних комплексів та систем військового призначення складає космічне озброєння. Відповідно вирішуваних завдань військові космічні системи складаються з: бойових та забезпечуючих. Бойові КА призначені для ведення бойових дій в космосі або з космосу, або є космічною часткою бойових наземно-космічних комплексів (систем). Це ударні космічні апарати, КА систем ПРО та ПКО космічного базування, КА радіоелектронної боротьби, виявлення старту БР. КА бойового забезпечення призначено для забезпечення повсякденної та бойової діяльності всіх видів збройних сил. Вони класифікуються як розвідувальні, навігаційні, зв'язку, метеорологічні, топогеодезичні, транспортні.

Розвідувальні КА використовуються для рішення цілого ряду завдань: виявлення та ідентифікації воєнних об'єктів, стеження за діяльністю угруповань військ противника, уточнення характеристик ТВД при плануванні операцій, цілевказівки засобам поразки та визначення наслідків ракетно-бомбових ударів, інформаційного забезпечення діяльності ЗС.

Закордонні військові фахівці вважають космічну розвідку основним, найбільш надійним джерелом регулярного отримання достовірної інформації незалежно від часу доби, погодних умов, географічного розташування районів та об'єктів які необхідно розвідати.

Принципово від можливостей КА розвідувальних систем не відрізняються можливості комерційних КА дистанційного зондування землі. Вони також забезпечують фотозйомку поверхні землі, оптико-електронну зйомку у видимому, інфрачервоному та субміліметровому діапазонах. Точності характеристики визначення об'єктів також майже не відрізняються. Тому, у разі необхідності, можливості військових систем розвідки можуть нарощуватись за рахунок можливостей КА дистанційного зондування землі. Наприклад у Іракському та Балканському конфліктах об'єднані сили НАТО використовували інформацію комерційних КА "SPOT", які належать Франції.

В діях мобільних компонентів збройних сил завжди широко використовувались регіональні навігаційні системи. Але навігаційні космічні системи забезпечують якісно новий стрибок у вирішенні цього завдання. Вони забезпечують надійне, високоточне визначення місцезнаходження необмеженого числа об'єктів в будь-який час в різноманітних метеоумовах. Сучасні навігаційні системи забезпечують вихід авіації на цілі, корегування польоту крилатих ракет, самонаведення авіаційних бомб. Апаратурою цих систем забезпечуються надводні кораблі та підводні човни, вертольоти та танки, підрозділи, діючі в місцевості з обмеженими можливостями орієнтування.

За думкою начальника космічного командування ВПС США генерала Т.Мурмона, найбільшу користь в Іракському конфлікті принесла саме навігаційна система "NAVSTAR".

В інтересах забезпечення управління військами велике значення мають супутникові системи зв'язку, багаторічне використання яких підтверджує їх перевагу на всіх рівнях зв'язку, особливо для військ діючих окремо від основних сил. Космічний зв'язок має такі властивості: глобальність, своєчасність, надійність, скритність. Багатостанційний доступ дозволяє організувати зв'язок одночасно в будь-яких напрямках та комбінаціях космічних каналів з наземними мережами зв'язку.

На цей час, наприклад, стратегічна система зв'язку США "DSCS" забезпечує глобальним зв'язком вищі органи управління усіх видів збройних сил, оперативні командування на ТВД, та окремо діючі авіаносні з'єднання.

В інтересах ВПС та ВМС діють системи зв'язку "AFSATCOM" та "FLITSATCOM" на базі ШСЗ FLITSATCOM, LISAT, DCSC, SDS.

У разі необхідності військові системи космічного зв'язку можуть нарощуватись за рахунок багаточисельних комерційних систем зв'язку.

До космічних систем зв'язку можна умовно віднести і КА з'йому інформації та передачі даних. Вони забезпечують передачу на космічні та

наземні засоби командно-програмної інформації (SDS, TDRS), з'йом з радіобуїв, автоматизованих метеостанцій інформації, прийом інформації від засобів, які терплять лихо, з послідуною її передачею на наземні приймальні пункти. Це КА "Океан" (РФ), міжнародна система пошуку та рятування КОСПАС-САРСАТ.

Метеорологічні космічні системи призначені для регулярного збору інформації про метеорологічну та гідрологічну обстановку на всій Земній кулі. Оперативне отримання даних про метеоумови особливо важливе для забезпечення дій сил та засобів авіації та флоту, сприяє їх більш ефективному застосуванню. В зоні Перської затоки метеосупутники використовувалися при планування авіаційно-ракетних ударів, операцій сухопутних військ. За їх допомогою розраховувалися зони забруднення місцевості у випадку застосування Іраком хімічної зброї.

Геодезичні космічні системи дозволяють отримати дані, необхідні для розвитку геодезичної мережі на території держави, геодезичного забезпечення топографічних зйомок, точної геодезичної прив'язки окремих об'єктів та визначення опорних напрямків для наведення ракет, наведення антенних систем. З їх допомогою уточнюються гравітаційні полі, вивчаються форма та розміри Землі.

Останні часи все більшу вагу набувають транспортні космічні системи. Вони виконують завдання доставки вантажу у космос до космічних кораблів та станцій, повернення КА на Землю, доставки матеріалів та спеціалістів для ремонту та обслуговування космічних апаратів, переведення КА з орбіти на орбіту і т.д.

До транспортних систем відносять космічні кораблі: багаторазові, вантажні, міжорбітальні буксири.

Замикають класифікацію допоміжні космічні системи, які уявляють з себе КА-мішені при випробуваннях, КА для юстировки радіолокаційних, радіотехнічних, оптичних, оптико-електронних засобів.

На сучасному етапі розвитку воєнної справи характерною новою рисою стає все більш широке використання космосу в інтересах збройних сил, “космічного забезпечення” операцій. Воно має місце практично у всіх видах сучасного оперативного (бойового) забезпечення операцій (бойових дій) значно поширюючи їх чисельні та якісні характеристики, підвищуючи ефективність застосування військ та засобів поразки в сучасних операціях.

Рішення цієї проблеми американські фахівці бачать у реалізації концепції “малих супутників” – малогабаритних недорогих КА для розвідки, попередження про ракетний напад, зв'язку та управління і т.і. Застосування малих супутників орієнтовано на рішення тактичних і оперативних завдань у межах конкретного регіону, ТВД з можливістю їх швидкого, масового та скритого запуску рішенням командуючого на ТВД.

За визначенням Науково-технічного підкомітету комітету ООН по космосу, ДЗЗ – це “спостереження і вимір енергетичних і поляризаційних характеристик власного і відбитого випромінювання елементів суші, океану й атмосфери Землі в різних діапазонах електромагнітних хвиль, що сприяють опису місцезнаходження, характеру і тимчасової мінливості природних параметрів і явищ, природних ресурсів Землі, навколишнього середовища, а також антропогенних об'єктів і утворень” [34]. Як видно з приведеного визначення, методи ДЗЗ допускають різні види класифікації: по спектральному діапазону використовуваного електромагнітного випромінювання, по типу реєстрованого сигналу (власне чи відбите, природне чи спрямоване від штучного джерела випромінювання); по параметрах зображень (просторова розрізненність, спектральна розрізненність, частота перегляду, розмір кадру на місцевості, оперативність виконання заявки, права щодо поширення та копіювання зображень); по характеристиках носіїв знімальної апаратури та її параметрах і ін. Параметри зображень та характеристики огляду визначально залежать від параметрів траєкторії космічного апарата та характеристик його бортової спеціальної апаратури.

## **4.2. Види та основні показники зображень дистанційного зондування Землі з космосу**

Сучасні оптико-електронні та радіолокаційні засоби космічного спостереження дозволяють проводити спостереження за об'єктами, що знаходяться на земній поверхні та за результатами дешифрування робити висновки щодо належності об'єктів до визначеного типу (підкласу, класу, виду), а також про характер їх діяльності. Для того, щоб оцінювати дешифровальні якості матеріалів космічної зйомки слід знати, які види зображень отримуються засобами спостереження, та які показники впливають на характеристики цих зображень.

На сьогодні використовують наступні види зображень [2, 6, 7, 23-25]:

**Знімок** – зображення об'єкта, отримане знімальною системою у вигляді двовимірного чи іншого запису, який дає змогу відтворювати двовимірне зображення об'єкта або району (рис.4.2-4.4).

**Космічний знімок** (космознімок) – знімок об'єкта зондування, отриманий з космосу за допомогою технічних засобів ДЗЗ.

**Цифрове зображення** (дистанційне зондування Землі) – зображення, представлене у вигляді з дискретизованого набору пікселів.

**Піксел** (дистанційне зондування Землі) – найменший елемент цифрового зображення, яскравість якого незмінна у межах цього елемента.

**Підстильна поверхня** (дистанційне зондування Землі) – поверхня, на якій розташовано або на фоні якої спостерігають об'єкти зондування.

**Оптичний засіб дистанційного зондування Землі** (з космосу) – технічний засіб ДЗЗ, який працює в ультрафіолетовому, видимому або інфрачервоному діапазонах електромагнітного спектра.



Рис.4.2. Космічний знімок великомасштабної пожежі в США  
(шт. Каліфорнія, 2003 рік)

**Смуга захоплення** (дистанційне зондування Землі) – смуга на поверхні Землі уздовж траєкторії польоту космічного апарата (рис.4.5), ширина якої визначає здатність технічного засобу ДЗЗ отримувати дані ДЗЗ під час знімання.

**Смуга огляду** (дистанційне зондування Землі) – смуга на поверхні Землі уздовж напрямку польоту космічного апарата, ширину якої визначає поле зору  $\gamma_{\text{п}}$  технічного засобу ДЗЗ, а довжину – тривалість знімання, вимірювана в лінійних одиницях.

**Панхроматичне (моноспектральне) зображення** – зображення сцени, отримане технічним засобом ДЗЗ в одному спектральному каналі.

**Спектрозональне зображення** – зображення земної поверхні, отримане одночасно в різних спектральних зонах.

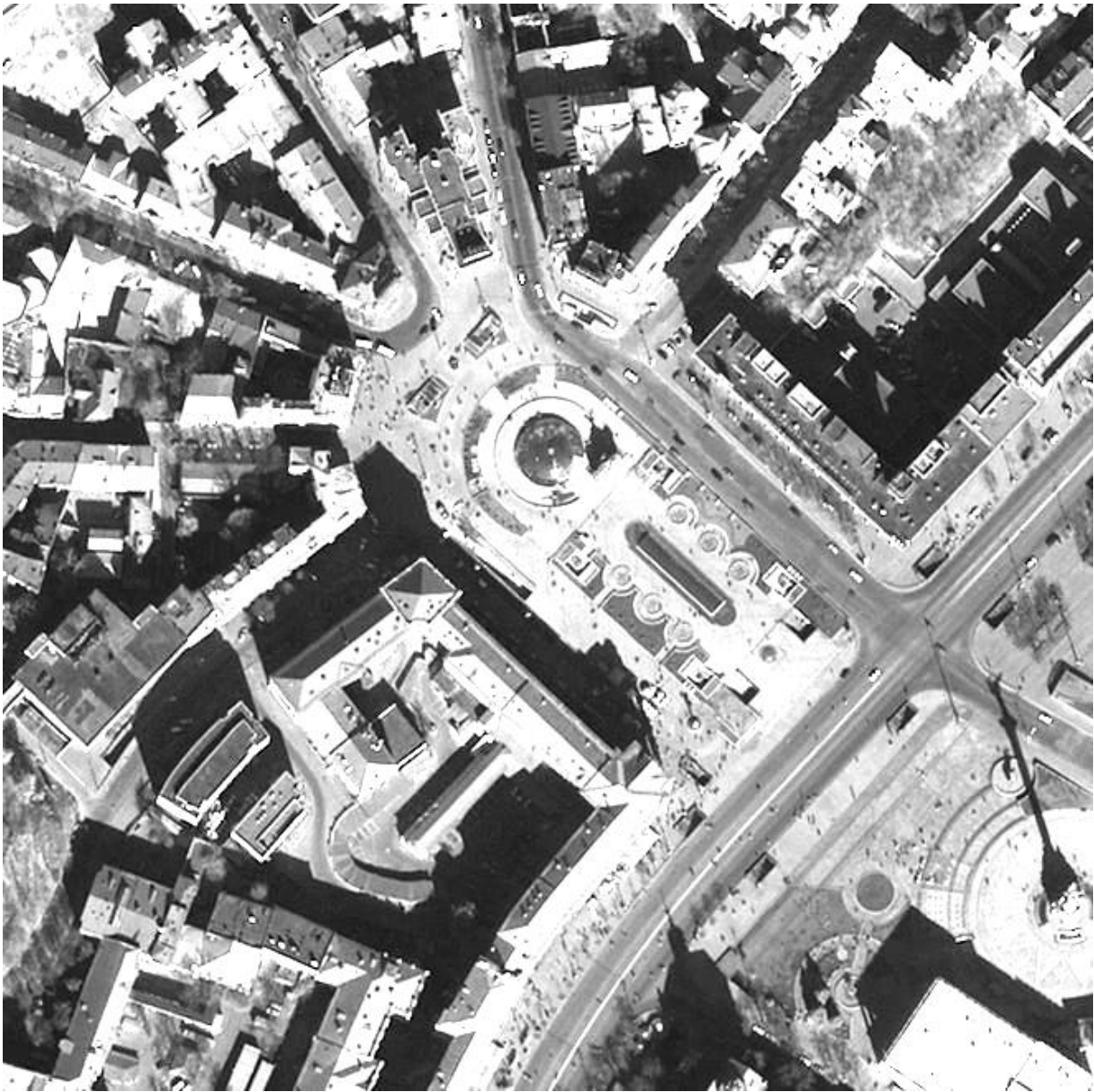


Рис.4.3. Майдан Незалежності (м. Київ). Знімок КА QuickBird-2

При зйомці в областях спектра, що відповідають чутливості зорових рецепторів людського ока – синьому, зеленому і червоному, виходить кольорове зображення об'єкта в природних кольорах.

**Багатоспектральне зображення** – два чи більше зображень тієї самої сцени, отримані одночасно в різних діапазонах електромагнітного спектра.

**Багатозональне (гіперспектральне) зображення** – зображення земної поверхні, отримане в чотирьох і більшому числі спектральних зон.

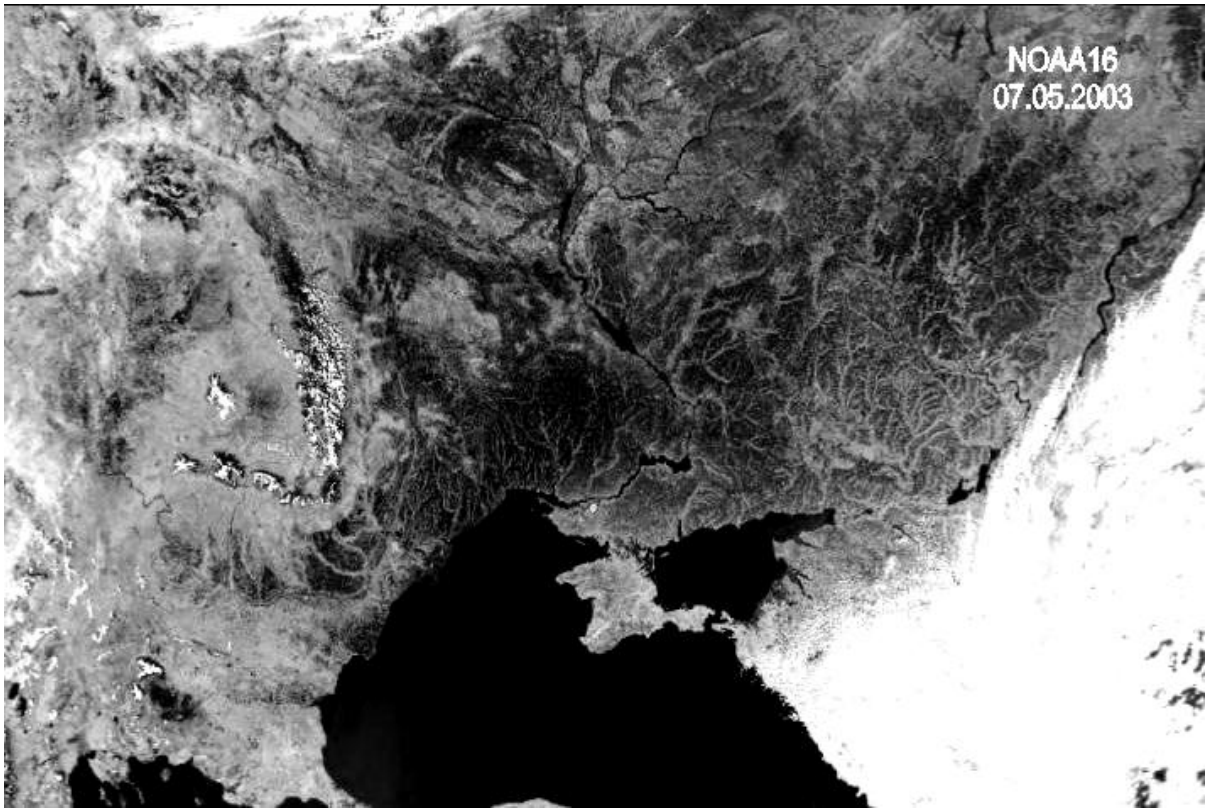


Рис.4.4. Космічний знімок України 7 травня 2003 року. Космічний апарат NOAA-16

**Інфрачервоне зображення** – зображення земної поверхні, отримане в інфрачервоному діапазоні спектра. У випадку, коли на формування зображення основний вплив здійснює власне (теплове) випромінювання об'єктів і фону таке зображення називають тепловим.

**Радіолокаційне зображення** – зображення земної поверхні, отримане в діапазоні радіохвиль ( $\lambda \geq 1$  мм).

При **спектральному зйомці** багатобарвне зображення є зображенням не в реальних, а в умовних кольорах. Передача кольору зображень в окремих спектральних ділянках повинна лише забезпечувати максимум колірного контрасту, а правильність її може бути порушена.

Для спектральної зйомки сучасними оптико-електронними засобами використовується адитивний спосіб. Він припускає одночасну зйомку в декількох зонах спектра. Поділ зон спектра здійснюється або застосуванням звичайного дисперсійного фільтра (для фіксації на широкодіапазонних фото-

приймачах одного датчика), або застосуванням фотоприймачів з вузькими зонами спектральної чутливості в різних датчиках.

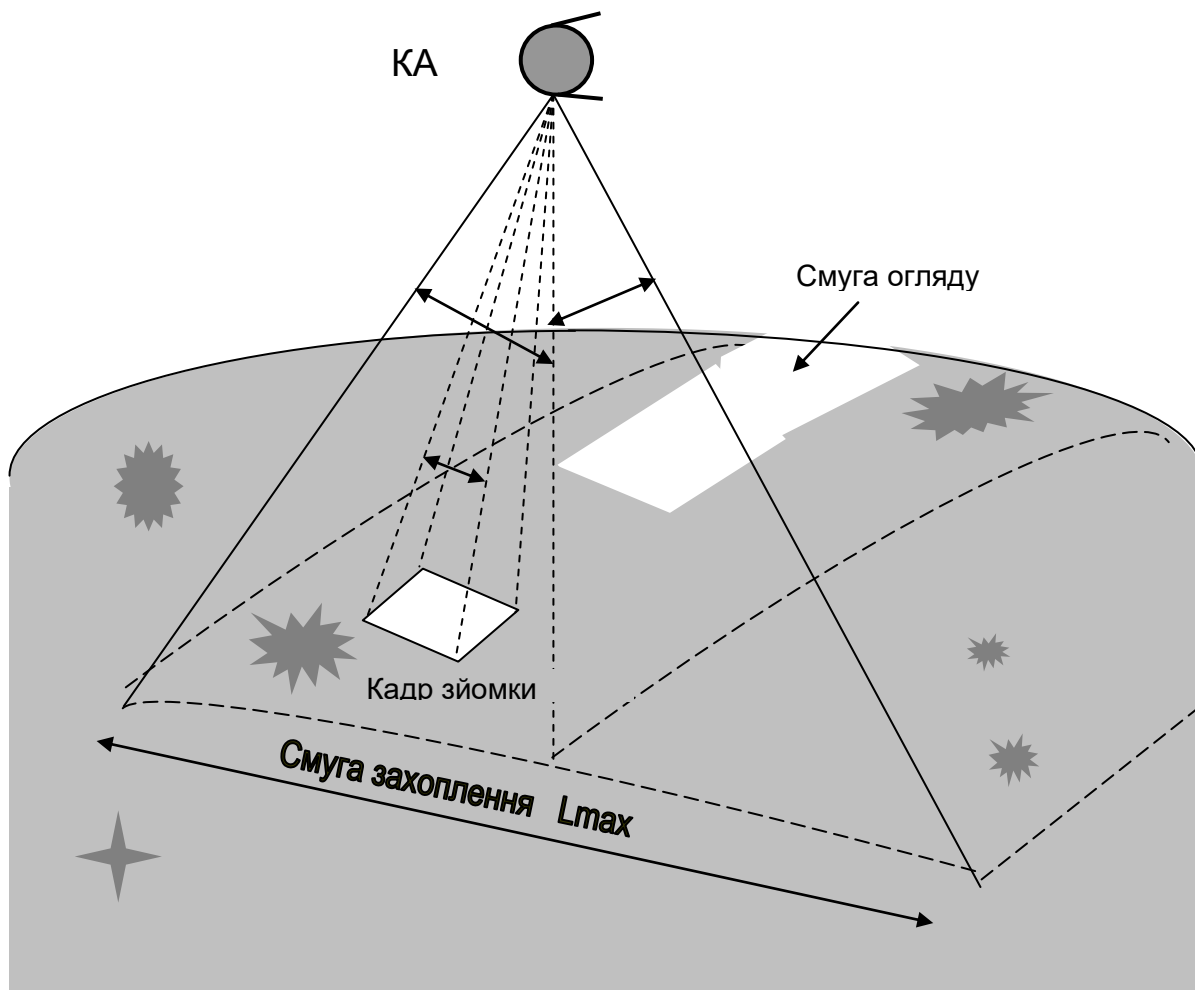


Рис.4.5. Геометрія параметрів огляду КА оптико-електронного спостереження

Іноді проводять спектрональну зйомку на два приймачі, один з яких чутливий до видимої області спектра, а інший до інфрачервоної. Синтез отриманої інформації дає роздільне кольорове зображення. Зображення видимого діапазону представляється в градаціях яскравості одного кольору (наприклад синього), а зображення інфрачервоного діапазону в градаціях іншого кольору, найбільше контрастного до першого (наприклад жовтого).

**Багатозональний** знімок в загальному випадку одержують у результаті зйомки комплектом синхронізованих датчиків з різними комбінаціями

фотоприймачів і світлофільтрів, що дають зональні зображення в різних спектральних інтервалах.

Одночасна зйомка в різних і досить вузьких спектральних діапазонах дозволяє збільшити інформативність знімків і вірогідність їхнього дешифрування. Така зйомка дозволяє виявляти фізико-хімічні і структурні властивості об'єктів.

Характеристики матеріалів космічної зйомки умовно можна поділити на основні, які безпосередньо визначають дешифрувальні властивості та допоміжні, які доповнюють або функціонально пов'язані з першими.

### **Основні характеристики матеріалів зйомки**

**Масштаб зображення** – це відношення довжини зображення відрізка  $\Delta l'$  на зображенні до дійсної довжини  $\Delta l$  цього відрізка на місцевості:

$$\frac{1}{m} = \frac{\Delta l'}{\Delta l}. \quad (4.1)$$

Розрізняють чисельний ( $1/m$ ) та лінійний ( $M$ ) масштаби. Величина чисельного масштабу виражається дробом, де чисельник дорівнює одиниці, а знаменник – число, яке показує, у скільки разів лінії на зображенні зменшені порівняно з відповідними лініями на місцевості. Лінійний масштаб виражається числом метрів на місцевості, що уміщуються в одному сантиметрі на зображенні. При виконанні різних розрахунків і визначенні розмірів об'єктів за їх зображеннями в процесі дешифрування зазвичай користуються лінійним масштабом.

**Розрізненна здатність  $R$**  – характеристика оптико-електронної системи, яка визначається максимальною просторовою частотою  $\nu$  періодичної решітки, штрихи якої візуально розрізняються на зображенні, при використанні в якості об'єкту стандартної міри заданого контрасту. Кількісно величина  $R$  дорівнює числу пар чорно-білих штрихів, що приходяться на 1 мм оптичної випробувальної таблиці (міри) і отримуються в цьому зображенні роздільно.

Розмірність розрізненної здатності –  $\text{мм}^{-1}$ . Розрізненна здатність може бути визначена за функцією передачі модуляції системи або експериментальним шляхом.

**Детальність** (розрізненність оптико-електронної системи на місцевості)  $d$  – характеристика оптико-електронної системи, що визначається найменшою шириною чорної чи білої смуги тест-об'єкта (міри), розташованого на місцевості, зображення якого на знімку ще може бути дешифровано. Детальність характеризує розрізненну здатність системи, приведену до місцевості, що спостерігається. Вона визначається за співвідношенням:

$$d = \frac{D_n}{(1/m)} = \frac{1}{2R \cdot 10^3 (1/m)}, \text{ м}, \quad (4.2)$$

де  $(1/m) = \frac{D_n}{d}$  – масштаб зображення;  $R$  – розрізненна здатність,  $\text{мм}^{-1}$ .

Існує також поняття приведеної детальності  $d^*$ , яка визначається кількістю пар чорно-білих смуг розташованої на місцевості міри. Приведена детальність визначає розрізненну здатність оптико-електронної системи, приведену до місцевості, що спостерігається:

$$d^* = 2d = \frac{1}{R \cdot 10^3 (1/m)}, \text{ м}. \quad (4.3)$$

Часто дані космічного спостереження умовно характеризуються наступними видами розрізненності:

- просторовою;
- спектральною;
- радіометричною;
- часовою.

**Просторова розрізненність** (на місцевості) – характеристика зображення, створювана видовим технічним засобом ДЗЗ, що визначає розмір найменшого

компактного об'єкта або ширина видовженого об'єкта певного контрасту, який можна визначити (розрізнити) на цьому зображенні з заданою імовірністю.

**Просторова (геометрична) розрізненність** характеризується мінімальним розміром об'єктів, що розрізняються на зображенні (знімку). В залежності від задач, що вирішуються, використовуються дані низької ( $\geq 100$  м), середньої (10–100 м) і високої ( $\leq 10$  м) розрізненності.

**Спектральна розрізненність** – найменша різниця частот сигналів електромагнітного випромінювання, що надходить від об'єкта зондування, яку може визначити (розрізнити) технічний засіб ДЗЗ.

**Спектральна розрізненність** характеризується кількістю спектральних зон, їхньою шириною і розміщенням по електромагнітному спектру. Спектральна розрізненність вказує на те, які ділянки спектра електромагнітних хвиль реєструються приладами.

**Радіометрична розрізненність** – найменша різниця інтенсивностей сигналів, що надходять від об'єкта зондування, яку може визначити (розрізнити) технічний засіб ДЗЗ.

**Радіометрична розрізненність** визначає діапазон розрізнявальних на знімку яскравостей.

**Часова розрізненність** – найменший інтервал часу, через який можливе повторне знімання сцени. Часова розрізненність визначає з якою періодичністю один і той же сенсор може вести зйомку визначеної ділянки місцевості.

**Тон зображення  $D$**  – оптична щільність засліплення елементарного елемента ПЗЗ-матриці або пікселя зображення на засобах відображення.

Тон відображення об'єктів і фонів незалежно від діапазону електромагнітного спектра визначається трьома загальними основними факторами: освітленістю місцевості (потужністю випромінювання, сигналу), структурою поверхні і характером розповсюдження відбитого світла (випромінювання), властивостями речовини поглинати і відбивати (випромінювати) енергію. Ці фактори в різних діапазонах спектру відіграють неоднакову роль.

Велике значення при дешифруванні мають співвідношення тонів (тонові контрасти). Значення тонового контрасту  $\Delta D_{12}$  визначається із співвідношення

$$\Delta D_{12} = D_1 - D_2, \quad (4.4)$$

де  $D_1, D_2$  – оптичні щільності зображень об'єктів.

Для якісної оцінки тону зображень використовується семибальна шкала тональності (табл. 4.1).

**Контраст зображення**  $K_3$  – міра розбіжності в оптичних щільностях чи в яскравостях зображень двох розташованих поруч об'єктів або об'єкта і фону. Він характеризує відносний розподіл інтенсивності випромінювання  $I$  в зображенні об'єкта і визначається за виразом

$$K_3 = \frac{L_1 - L_2}{L_1 + L_2}, \quad L_1 > L_2, \quad \text{або} \quad K = \frac{\beta_1 - \beta_2}{\beta_1 + \beta_2}, \quad \beta_1 > \beta_2, \quad (4.5)$$

де  $L_1, L_2$  – яскравості;

$\beta_1, \beta_2$  – коефіцієнти яскравості двох об'єктів або об'єкта і фону.

Таблиця 4.1

**Спектральний розподіл шкали тональності зображень**

Бал тону	Назва тону	Межі змін оптичних щільностей
1	Білий	< 0,2
2	Майже білий	0,2 – 0,3
3	Світло-сірий	0,3 – 0,6
4	Сірий	0,6 – 1,1
5	Темно-сірий	1,1 – 1,6
6	Майже чорний	1,6 – 2,1
7	Чорний	> 2,1

Часто для виразу контрасту користуються іншими співвідношеннями:

$$K = \frac{L_1 - L_2}{L_2}, \quad L_1 > L_2, \quad \text{тоді } 0 < K \leq 1 \quad (4.6)$$

$$K = \frac{L_1 - L_2}{L_2}, \quad L_1 > L_2, \quad \text{тоді } 0 < K \leq +\infty$$

**Тепловий контраст** об'єкта і фону визначається різницею енергетичних світимостей об'єкта  $M_{e\text{об}}$  і фону  $M_{e\text{ф}}$  і розраховується за формулами

$$K_e = \frac{M_{e\text{об}} - M_{e\text{ф}}}{M_{e\text{об}} + M_{e\text{ф}}}, \quad (4.7)$$

або, якщо об'єкт і фон можна представити сірими тілами

$$K_e = \frac{\varepsilon_{\text{об}} T_{\text{об}}^4 - \varepsilon_{\text{ф}} T_{\text{ф}}^4}{\varepsilon_{\text{об}} T_{\text{об}}^4 + \varepsilon_{\text{ф}} T_{\text{ф}}^4}, \quad (4.8)$$

де  $\varepsilon_{\text{об}}$ ,  $\varepsilon_{\text{ф}}$ ,  $T_{\text{об}}$ ,  $T_{\text{ф}}$  – спектральні коефіцієнти теплового випромінювання і температура об'єкта та фону відповідно.

**Геометричні викривлення.** Геометричні викривлення призводять до того, що розмір та форма однотипових об'єктів змінюються по всьому знімку.

Повна подібність форми зберігається лише в центрі надирного знімка. По мірі віддалення від центра планового знімка, а також по всьому полю знімка, який був отриманий при відхиленні об'єктива від точки надир, форми об'єктів набувають перспективних спотворень. Викривлення тим більші, чим вище об'єкт. При відхиленні осі об'єктива до  $3^\circ$  викривлення мінімальні і візуально непомітні, а до  $25-30^\circ$  їх вплив на ефективність процесу дешифрування дозволяє певною мірою нехтувати ними.

Рельєф місцевості також призводить до появи геометричних викривлень.

### **Допоміжні характеристики матеріалів зйомки.**

**Розрізненною здатністю за температурою** інфрачервоної системи називається характеристика, яка визначається її можливістю реєструвати різницю температур (теплових випромінювань) об'єкта і оточуючого середовища, двох сусідніх об'єктів або природних утворень.

**Лінійна розрізненна здатність** визначається в залежності від миттєвого кута зору приладу, висоти польоту і кута візування:

$$l = \frac{H \cdot \gamma}{\cos \beta}, \quad (4.9)$$

де  $H$  – висота польоту;  $\gamma$  – миттєвий кут зору;  $\beta$  – кут візування.

**Лінійний елемент розрізненності  $D_n$**  знімка визначається мінімальною шириною зображення окремого лінійного протяжного об'єкта (чорного чи білого штриха), який ще можливо виявити на знімку.

Величина  $R^*$ , яка зворотна подвоєному лінійному елементу розрізненності  $D_n$ , носить назву лінійної розрізненності знімку  $R^*$ :

$$R^* = \frac{1}{2D_n} = \frac{1}{D_n^*}. \quad (4.10)$$

**Функція передачі модуляції.** Якщо на місцевості розмістити тест-об'єкт, що складається з почергово змінюваних темних і світлих смуг, ширина яких поступово зменшується, а перепад яскравості між темними і світлими смугами залишається сталим (рис. 4.5), то розподіл інтенсивності випромінювання в зображенні такого об'єкта буде мати вигляд гармонічної затухаючої кривої.

Інтенсивність випромінювання в зображенні об'єктів місцевості на знімку спотворюється тим більше, чим менші розміри об'єктів. Зі зменшенням розмірів об'єктів зменшуються яскравісні відмінності в їх зображенні, тобто зменшується модуляція в зображенні об'єктів.

Характеристика гармонічного розподілу інтенсивності випромінювання  $I$ , визначається виразом

$$m_z = \frac{I_{z \max} - I_{z \min}}{I_{z \max} + I_{z \min}}, \quad (4.11)$$

і називається модуляцією в зображенні. Модуляція являє собою частковий випадок контрасту  $K$  для гармонічного розподілу інтенсивності випромінювання.

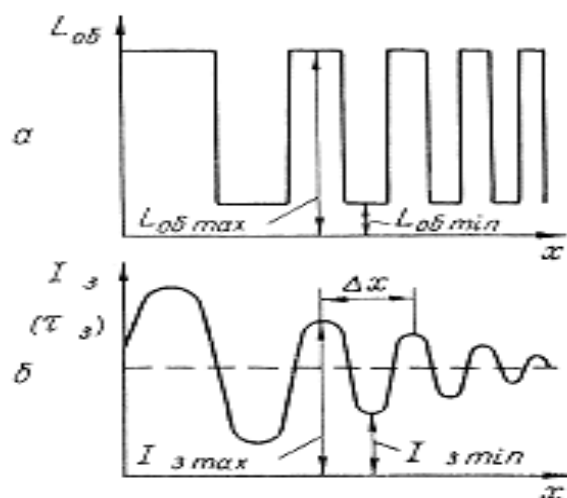


Рис.4.5. Функція передачі модуляції

Відношення модуляції в зображенні  $m_z$  до модуляції в об'єкті  $m_{об}$  для даної просторової частоти  $\nu$  носить назву коефіцієнта передачі модуляції  $T$ :

$$T = \frac{m_3}{m_{об}}. \quad (4.12)$$

Залежність коефіцієнта передачі модуляції  $T$  від просторової частоти  $\nu$  являє собою модуль передаточної функції і називається функцією передачі модуляції або частотно-контрастною характеристикою –  $T(\nu)$ .

Функція передачі модуляції системи визначається як добуток функцій передачі модуляції окремих ланок тракту проходження інформації: об'єктива  $T_{об}(\nu)$ , приймача випромінювання  $T_{пв}(\nu)$ , коефіцієнта передачі тракту підсилення й обробки електричного сигналу  $\dot{k}_c(\nu)$  та реєструючого пристрою  $T_{рп}(\nu)$ .

Функція передачі модуляції системи дорівнює:

$$T_{сист}(\nu) = T_{об}(\nu) T_{пв}(\nu) \dot{k}_c(\nu) T_{рп}(\nu). \quad (4.13)$$

**Функція розсіювання. Передаточна функція.** На передачу іконічними оптико-електронними системами яскравості об'єктів (або випромінюючої здатності для теплових систем) і яскравісних відмінностей між об'єктами суттєво впливають форма та розміри цих об'єктів. Будь-яка іконічна оптико-електронна система кожен елементарну точку (лінію) об'єкта зйомки відтворює не у вигляді точки, а у вигляді розмитої плями (лінії). Нормований розподіл інтенсивності випромінювання в зображенні об'єкта, який має вигляд точки або лінії, називається функцією розсіювання точки або лінії. Перетворення Фур'є функції розсіювання називається передаточною функцією оптико-електронної системи.

**Гранична крива.** Зображення всієї місцевості, що знаходиться в полі зору оптико-електронної системи, отримується як результат сумування “розмитих” зображень всіх елементарних точок даної місцевості. В результаті

такого перетворення тонка просторова структура поля яскравості, що спостерігається на зображенні, немов би згладжується. Якщо на місцевості на межі між двома об'єктами яскравість змінюється різко, то на зображенні щільність засліплення буде змінюватись плавно – у вигляді граничної кривої.

Функція розсіювання, гранична крива і функція передачі модуляції пов'язані між собою визначеними математичними співвідношеннями, і якщо одна з цих характеристик системи відома, інші можуть бути розраховані.

**Порогова характеристика діючого контрасту.** Рішення задачі отримання зображення іконічною оптико-електронною системою пов'язане з власними шумами системи. В результаті впливу шумів деталі зображення, контраст яких менший контрасту шумів, стають нерозпізнаваними на знімку. Залежність від просторової частоти мінімального контрасту в зображенні, необхідного для дешифрування зображення, називається пороговою характеристикою діючого контрасту.

**Характеристика (характеристична крива) відтворення.** Показники ефективності, що характеризують особливості відтворення параметрів ландшафту, визначаються характеристикою відтворення одного з параметрів ландшафту. Ця характеристика перш за все є функцією довжини хвилі електромагнітного випромінювання. Для різних засобів визначаються свої характеристики відтворення.

У оптико-електронних засобах відтворюється зображення ландшафту, при цьому зміна щільності засліплення  $D$  (ступінь засліплення елементарного елемента ПЗЗ-матриці або пікселя зображення на засобах відображення) пропорційна зміні яскравості  $L_{\Delta\lambda}$  або коефіцієнту яскравості  $\beta_{\Delta\lambda}$  об'єктів спостереження і фонів у визначеному спектральному діапазоні  $\Delta\lambda$  електромагнітного випромінювання.

В інфрачервоних (теплових) іконічних системах при роботі вночі на ПЗЗ-матриці відтворюється у вигляді зміни щільності засліплення  $D$  енергетична світимість  $M_{e\Delta\lambda}$  об'єктів спостереження і фонів у визначеному спектральному

діапазоні  $\Delta\lambda$  електромагнітного випромінювання, тобто  $D(M_{e\Delta\lambda})$ . Величина енергетичної світимості, згідно з законом Стефана-Больцмана, пропорційна четвертому ступеню температури  $T$  деталей ландшафту. Таким чином, зміна щільності  $D$  пропорційна зміні температури цих деталей, тобто  $D(T)$ . Вдень до власного теплового електромагнітного випромінювання об'єктів додається складова сонячного випромінювання, пропорційна коефіцієнту енергетичної яскравості в спектральному діапазоні чутливості оптико-електронної системи.

Характеристика відтворення має похилу ділянку, що відповідає визначеному інтервалу, в межах якого система передає яскравісні відмінності. Поза цим діапазоном іконічна система яскравісних відмінностей не передає.

**Поріг чутливості.** Мінімальна величина яскравості, нижче якої яскравісні відмінності не відтворюються, характеризує поріг чутливості системи, а мінімальна щільність, що виявляється, визначає чутливість системи:

по яскравості  $\Delta L_{\Delta\lambda\text{пор}}$  для систем оптичного діапазону;

по спектральній енергетичній світимості  $\Delta M_{e\text{пор}}$  або температурі  $\Delta T_{\text{пор}}$  для теплових систем.

**Динамічний діапазон.** Відношення величини  $\Delta L_{\Delta\lambda\text{пор}}$  ( $\Delta M_{e\Delta\lambda}$  або  $\Delta T$  – для інфрачервоних систем), яка відповідає лінійній ділянці характеристики відтворення, до величини  $\Delta L_{\Delta\lambda\text{пор}}$  ( $\Delta M_{e\text{пор}}$  або  $\Delta T_{\text{пор}}$  – для інфрачервоних систем) визначає динамічний діапазон системи.

**Миттєве поле зору прийомної частини  $\gamma_{\text{п}}$**  – це кут, в межах якого приймач потоку випромінювання сприймає випромінювання від елемента ландшафту в даний момент положення візирного променя. Цей кут визначається відношенням  $\gamma_{\text{п}} = a/f'$ , де  $a$  – лінійний розмір чутливої площадки приймача випромінювання,  $f'$  – фокусна відстань прийомної оптичної системи. Розділяють миттєве поле зору у напрямку сканування  $\gamma_{\text{пх}}$  і в напрямку польоту  $\gamma_{\text{пу}}$ .

**Миттєве поле зору елементарного інформаційного каналу системи  $\gamma_{\text{еік}}$**  – це кут, в межах якого система відтворює випромінювання від елемента  $d$

ландшафту до елемента вихідного реєструючого пристрою. Величина  $\gamma_{eik}$  по напрямку  $x$  визначається за співвідношенням:

$$\gamma_{eik} = \frac{1}{2 \cdot f'_{екв} \cdot R \cdot (1 - 10^{-|\Delta D|}) \cdot \cos^2 \beta}, \quad (4.14)$$

де  $\beta$  – половина поля зору системи;

$f'_{екв}$  – еквівалентна фокусна відстань системи;

$R$  – лінійне розрізненість в центрі знімка при контрасті  $K$  об'єкта і фону, який дорівнює одиниці;

$\Delta D$  – різниця оптичних щільностей на зображенні об'єкта і фону.

Миттєве поле зору елементарного інформаційного каналу є важливим параметром, що характеризує різкісні властивості отриманого зображення, його розрізненість. Вимірюється  $\gamma_{eik}$  в мілірадіанах або кутових хвилинах.

**Кутова розрізненість  $\gamma_{oec}$  системи дорівнює:**

$$\gamma_{oec} = 2 \cdot \gamma_{eik}. \quad (4.15)$$

Кутова розрізненість визначає мінімальну розрізнявану системою кутову просторову частоту  $\nu' = 1/\gamma_{oec}$ .

## 5. ЗАСТОСУВАННЯ КОСМІЧНИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ У ЛОКАЛЬНИХ ВІЙНАХ ТА ЗБРОЙНИХ КОНФЛІКТАХ

Застосування систем космічної розвідки (спостереження) для вирішення завдань інформаційного забезпечення командування збройних сил у ряді іноземних держав є одним із важливих напрямків забезпечення національної безпеки цих країн.

Аналіз світового досвіду освоєння космічного простору дає підстави завдання його використання для військових цілей об'єднати у три основні групи [3, 6, 19, 38, 54]:

- інформаційне забезпечення бойової діяльності збройних сил;
- забезпечення управління та зв'язку;
- ведення воєнних дій в космосі.

Завдання першої групи спрямовані на виявлення ранніх ознак підготовки противника до війни, встановлення факту (початку) нападу, забезпечення розвідувальними даними верховного командування та командувань на театрах воєнних дій, контроль результатів ракетних ударів, навігаційне, гідрометеорологічне та топогеодезичне забезпечення операцій збройних сил, оперативне спостереження за обстановкою на театрі воєнних дій, контроль радіаційної обстановки і вирішення інших завдань забезпечення бойових дій. До цієї групи можна також віднести космічні засоби першого ешелону виявлення старту балістичних ракет системи попередження про ракетний напад (СПРН), якими володіють США та Росія.

Завдання забезпечення управління та зв'язку дозволяють реалізувати принцип централізації бойового управління військами і зброєю, забезпечити збройні сили аж до тактичної ланки включно космічним зв'язком, що значною мірою підвищує надійність управління військами в будь-яких умовах оперативно-стратегічної обстановки.

Завдання ведення воєнних дій в космосі спрямовані на радіоелектронне придушення космічних засобів управління силами і засобами противника, активний вплив на космічне і геофізичне середовище та на космічні засоби, розвідку космічного простору і видачу цілевказівок наземним бойовим засобам, створення сприятливих умов для виконання завдань своїми космічними силами й засобами та видами збройних сил.

Вперше, в бойових умовах, орбітальні космічні засоби були використані США в період дій у В'єтнамі (1964 – 1973 роки) [3]. Завдяки їм підтримувався безперервний зв'язок Пентагону з командуванням експедиційних сил, проводилось фотознімання важливих районів та об'єктів, що забезпечувало дії авіації та наземних сил.

У війні на Близькому Сході (1973 рік) розвідувальна інформація з американських супутників використовувалась Ізраїлем для рішення оперативних завдань.

На протязі англо-аргентинського конфлікту (1982 рік) за допомогою космічних систем здійснювалась розвідка об'єктів на узбережжі Фолклендських (Мальвінських) островів, розвідка океанського ТВД, зв'язок метрополії з ескадрою на переході морем та морськими піхотинцями, які висадились на острови.

Держави, які володіють космічними технологіями, широко використовують для розвідувально-інформаційного забезпечення національної безпеки і оборони як власне розвідувальні космічні засоби, так і інформацію космічних засобів, що проводять дистанційне спостереження Землі із космосу. Космічний апарат (КА), який функціонує у складі такої системи має подвійне призначення: комерційне (цивільне) та спеціальне (розвідувальне). Космічні засоби ДЗЗ здійснюють видову розвідку. За масштабами вирішуваних задач космічна розвідка відноситься до оперативно-стратегічного рівня. У ході локальних воєнних конфліктів останніх десятиліть космічні засоби використовувались як для інформаційного забезпечення бойової діяльності збройних сил так і для

забезпечення управління та зв'язку. Склад орбітальних угруповань космічних апаратів задіяних у ході проведення локальних воєнних конфліктів останніх десятиліть показаний в табл.5.1 [33].

Суттєві переваги космічної розвідки над іншими видами технічної розвідки у глобальності, екстериторіальності, оперативності, безперервності та комплексності визначають чільне місце її в інформаційно-розвідувальному забезпеченні ведення бойових дій. Космічна розвідка значно переважає інші види технічних розвідок щодо можливості отримання інформації з великих важкодоступних районів земної поверхні.

Задачі космічної розвідки незалежно від періоду оперативно-стратегічної обстановки виконуються поетапно. На першому етапі проводиться суцільна космічна розвідка оглядового типу усіх найбільш важливих районів земної поверхні. На цьому етапі виявляються об'єкти противника, визначається їхня важливість і стан, виробляються вимоги до періодичності відновлення даних про об'єкти.

Таблиця 5.1.

**Склад орбітальних угруповань космічних апаратів задіяних у ході проведення воєнних конфліктів останніх десятиліть**

Призначення космічних апаратів	КОНФЛІКТИ			
	Ірак 1990 – 1991р.р.	Югославія 1999 р.	Афганістан 2001 р.	Ірак 2002 – 2003 р.р.
1. ЗАГАЛЬНА КІЛЬКІСТЬ КА, ЗАДІЯНИХ В ОПЕРАЦІЇ, З НИХ:	68	близько 140	більше 150	більше 230
військових	64	близько 70	близько 70	близько 130
комерційних	4	близько 70	більше 80	більше 100
<b>2 СКЛАД ОРБІТАЛЬНОГО УГРУПОВАННЯ</b>				
2.1 РОЗВІДУВАЛЬНІ КА, ВСЬОГО	24	35	26	47
видової розвідки	4	7 ( 1 – фр.)	8 ( 2 – фр.)	8 ( 2 – фр.)
радіо і радіотехнічної розвідки	19	28	18	33

Призначення космічних апаратів	КОНФЛІКТИ			
	Ірак 1990 – 1991р.р.	Югославія 1999 р.	Афганістан 2001 р.	Ірак 2002 – 2003 р.р.
комплексна розвідка	1			6
<b>2.2 ЗАБЕЗПЕЧУВАЛЬ- НІ КА, ВСЬОГО</b>	40		43	78
ВСБР і ЯВ	4			7
навігаційні	17		24	28
зв'язку	14		17	36
метеорологічні	2		2	5
топогеодезичні	1			1
військово- експериментальні	2			1
<b>2.3 КОМЕРЦІЙНІ КА, ВСЬОГО</b>	4	близько 70	більше 80	більше 100
ДЗЗ:	4	8	9	4
зв'язку		60	66	66
метеорологічні				15

На другому етапі здійснюється планово-періодичне чи оперативне спостереження за виявленими об'єктами противника і з заданою періодичністю обновляються розвіддані. Отримані розвіддані аналізуються, визначається необхідність одержання додаткових, уточнюючих розвідданих. На третьому етапі проводиться детальна космічна розвідка об'єктів противника засобами високої розрізненної здатності, що дозволяє одержати дані про деякі характеристики об'єктів розвідки. Перераховані етапи космічної розвідки носять умовний характер, але розвідка кожного важливого об'єкта противника обов'язково проходить через них.

### **5.1. Досвід застосування космічних систем спостереження в зоні Перської затоки (1990-1991 рр.)**

Визначальною тенденцією світового розвитку наприкінці 80-х – початку 90-х років ХХ-го століття був перехід від багаторічної “холодної війни” до розрядки міжнародної напруженості і зниження рівня воєнного протистояння

провідних соціально-політичних систем. Однак намічений прогрес у нормалізації відносин між Сходом і Заходом супроводжувався збереженням як існуючих, так і потенційних воєнних конфліктів у “третьому світі”. Найбільш небезпечна та непрогнозована ситуація склалася в зоні Перської затоки в результаті вторгнення Іраку в Кувейт 2 серпня 1990 року. Агресія обумовила безпрецедентне зосередження в цьому регіоні під егідою США різномірних контингентів військ (сил) у рамках операцій “Щит пустелі” (02.08.1990р. – 01.1991р.) і “Буря в пустелі” (17.01. – 28.02.1991р.).



Політична карта світу: район Перської затоки

Війна в зоні Перської затоки стала першим і самим значним конфліктом, де важливу роль у забезпеченні бойової діяльності БНС зіграли космічні системи розвідки. У ході війни багатонаціональних сил проти Іраку в зоні Перської затоки поряд з широким використанням традиційних засобів і способів ведення бойових дій США та їх союзники вперше інтенсивно задіяли разом із силами і засобами повітряної розвідки космічні засоби розвідки і спостереження для

виявлення й одержання координат найбільш важливих об'єктів противника, даних про нього і, насамперед, про стан його збройних сил [6, 54].



Географічна карта світу: район Перської затоки

Американські військові фахівці з подачі колишнього начальника головного штабу ВПС США генерала М.Макпіка визначили війну в зоні Перської затоки “першою війною космічної ери” тому, що в ній були задіяні військово-космічні засоби в інтересах підготовки та ведення бойових дій багатонаціональними силами. Згідно із заявою командувача об’єднаного космічного командування збройних сил США генерала ВПС Кутіна, ефективність дій БНС зросла, а іракської армії знизилася завдяки монополії союзників на космічні системи. Його заступник віце-адмірал Доурті у зв’язку з цим підкреслив, що застосування космічних систем в ході операцій “Щит пустелі” і “Буря в пустелі” необхідне для забезпечення дій збройних сил у будь-яких конфліктах [54].

Основними воєнно-політичними цілями операції “Щит пустелі” були: захист території Саудівської Аравії, безумовне виведення іракських військ з

окупованої території і поновлення влади скиненого уряду Кувейту, встановлення рівноваги протиборствуючих сил на Близькому Сході, збереження американського контролю над важливими нафтоносними районами і поширення воєнної присутності в регіоні на довгостроковій основі. Досягнення цих цілей передбачалося шляхом проведення комплексу взаємодоповнюючих заходів: від політичного тиску та економічної блокади Іраку до демонстрації могутності і можливого розв'язання коаліційних воєнних дій [44–46].

У ході війни багатонаціональних сил проти Іраку в зоні Перської затоки поряд з широким використанням традиційних засобів і способів ведення бойових дій США та їх союзники вперше інтенсивно задіяли разом із силами і засобами повітряної розвідки космічні засоби розвідки і спостереження для виявлення й одержання координат найбільш важливих об'єктів противника, даних про нього і, насамперед, про стан його збройних сил. Про це свідчать висловлювання в 1992 р. керівника організації зі здійснення програми СОІ Г. Купера і міністра оборони США Р.Чейні. Так, Г.Купер висловив свою думку про те, що війна в зоні Перської затоки "...стала першою, у якій космос відіграв вирішальну роль", а Р.Чейні в доповіді Президенту і Конгресу про проект бюджету оборони на 1991– 1992 роки підкреслив: "При проведенні операції "Дезерт шилд" космічні сили використовувалися в повному обсязі" [27] (табл.5.2).

Усього в період конфлікту в зоні Перської затоки було задіяно 60 супутників різного призначення за допомогою дорозгортання супутників орбітального резерву і запуску нових. У район Перської затоки додатково була перенацілена частина супутників, що вирішували завдання в інтересах інших ТВД, англійський військовий супутник зв'язку "Skynet-4", канали супутникового зв'язку міжнародних концернів "Intelsat" і "Inmarsat".

**КА, які були задіяні при підготовці та в ході операції “Буря в пустелі”**

Країна	Найменування КА	Апаратура	Примітка
<b>Розвідки і спостереження</b>			
США	KH-11	Оптико-електронної розвідки	Військ.
США	KH-11M	Оптико-електронної розвідки	Військ.
США	Lacrosse	Радіолокаційної розвідки	Військ.
США	AFP-658	Оптико-електронної розвідки	Військ.
США	AFP-888	Оптико-електронної розвідки	Військ.
США	FERRET	Радіоелектронної розвідки	Військ.
США	Aquacade	Радіоелектронної розвідки	Військ.
США	Shalle	Радіоелектронної розвідки	Військ.
США	WhiteCloud	Радіоелектронної розвідки	Військ.
США	“Block-14”	Оптико-електронної розвідки	Військ.
США	Landsat	Оптико-електронного спостереження	Цивільн.
Франція	SPOT	Оптико-електронного спостереження	Цивільн.
<b>Зв’язку</b>			
Великобританія	Skynet-4		Військ.
США	DSCS		Військ.
США	Lisat		Військ.
США	Flitsat		Військ.
США	Tacksat		Військ.
США	Afsat		Військ.
Міжнародний концерн	КА зв’язку системи “Intelsat”		Цивільн.
Міжнародний концерн	КА зв’язку системи “Inmarsat”		Цивільн.
<b>Навігації</b>			
США	КА системи “NAVSTAR”		Спільн.
<b>Метеорологічного забезпечення</b>			
США	КА системи DMSP		Військ.

В інтересах підготовки і проведення операції “Щит пустелі” США додатково до розвідувальних супутників, які знаходилися на орбіті, запустили два військових супутники, призначених для добування розвідувальної інформації: ДСП “Block-14” і AFP-658.

До складу орбітального угруповання, що забезпечувало дії БНС в операції “Буря в пустелі”, входило більше 20 космічних апаратів (КА) видової (КН-11, “Lacrosse-1”) і радіоелектронної (“FERRET”, “Shale”, “White Cloud”, “Aquakade”, AFP-658) розвідки, які мали високі технічні можливості. Наприклад, космічний апарат КН-11 здійснював оглядову розвідку одного району (декілька тис. кв. км.) у смузі 2500 км із лінійною розрізненістю: 1–4,4 м – при зйомці в надир, 6–10 м – на краю смуги огляду, і детальну розвідку кількох районів площею близько 10 кв. км кожний у такій же смузі з лінійною розрізненною здатністю: 0,3–0,6 м – при зйомці в надир, 1,6–3,8 м – на краю смуги огляду. За отриманими зображеннями можна було дешифрувати об’єкти по класу і типу. Час обробки інформації складав близько 2 годин, а точність визначення координат – декілька десятків метрів.

За оцінками американських фахівців КА КН-11 був здатний до забезпечення умов розпізнавання бойової техніки на сформованому під час розвідки зображенні не тільки щодо типу. За зображенням можна було визначати бортовий номер бойової техніки і характер вантажу, що перевозився.

Космічний апарат “Lacrosse-1” здійснював радіолокаційну розвідку, забезпечуючи виявлення замаскованих об’єктів. Лінійна розрізненна здатність засобів розвідки цього КА на місцевості складає 0,6–3 м. Радіолокаційні зображення передавалися по радіоканалу в центр обробки через супутники-ретранслятори “TDRS”. За синтезованими на ЕОМ зображеннями бойова техніка дешифрувалась щодо класу і типу. Точність визначення координат складала декілька десятків метрів.

Космічні апарати радіо- і радіотехнічної розвідки “Shale” і “Aquakade” забезпечували перехоплення сигналів радіорелейних, тропосферних і УКН станцій зв’язку, що працюють практично в усіх діапазонах частот (20–40 000 МГц), а також радіотелеметричних станцій. Передача розвідувальних даних із КА здійснювалася по радіоканалу в Центр управління, прийому й обробки інформації (Форт-Белвор, поблизу м. Вашингтон) через супутники-

ретранслятори "SDS", де за допомогою ЕОМ відбувалося їх комплексна обробка. Координати розвіданих об'єктів визначалися з точністю до декількох кілометрів.

Використання космічних засобів в зоні Перської затоки носило ознаки підготовки та ведення забезпечуючої космічної операції. Цими ознаками були:

1. Вперше космічні засоби використовувались на всіх рівнях – стратегічному, оперативному, а також тактичному.

2. У підготовчий період здійснювалось нарощування орбітального угруповання. Так, до початку Ірако-Кувейтського конфлікту для забезпечення бойових дій можна було використовувати до 53 КА у складі: 23 розвідувальних КА, 2 КА виявлення старту БР; 14 навігаційних, 11 супутників зв'язку, 2 метеорологічних та 1 топогеодезичний КА. У період розгортання багатонаціональних сил у районі Перської затоки було здійснено нарощування угруповання до 74 КА. (3 – зв'язку, 1 – навігаційний, 1 – метеорологічний. 1 – виявлення старту БР), які посилили існуюче угруповання. Крім цього, з резерву в оперативне використання було переведено 14 КА основних космічних систем.

3. Вперше для цілодобового стеження за обстановкою були використані КА радіолокаційної розвідки «Lacrosse». Особливою ознакою було і те, що під час операції широко використовувалось інформація комерційних КА дистанційного зондування Землі «SPOT» та «Landsat». Інформація з них мала «важливе значення в плануванні операцій».

У ході цієї війни у складі системи видової розвідки використовувалися два оперативних КА оптико-електронної розвідки "KH-11" (№7, №8), а також КА радіолокаційної розвідки "Lacrosse-1". У грудні 1990 року була проведена корекція орбіти резервного супутника "KH-11" (№6) з метою зфазування його орбіти з іншими КА, після чого почалося оперативне використання цього КА у загальній системі спостереження. Не зважаючи на прискорену підготовку, вивести на орбіту новий КА "Lacrosse-2" наземному ракетно-космічному елементу не вдалося. Він був запущений тільки у травні і тому при плануванні

операції він та його наземний елемент не застосовувалися. Крім чотирьох КА видової розвідки для оглядової зйомки ТВД активно використовувалися комерційні КА ("Landsat" -4...-5 (США) та "SPOT" -1...-2 (Франція)).

Біля 120 тис. знімків, зроблених з КА, використовувалися у якості тимчасових карт території Іраку та Кувейту у ході планування та проведення бойових операцій. У зоні конфлікту було розгорнуто більше 100 терміналів для забезпечення ВПС через інформаційну систему "MSS-2" для планування маршрутів польотів бойової авіації з урахуванням рельєфу місцевості та позицій ППО противника. Аналогічні системи використовувалися і для формування польотних завдань крилатих ракет по цифрових картах місцевості та забезпечення передпольотних тренувань екіпажів бойових літаків.

За допомогою засобів видової розвідки вдалося викрити перебазування іракських військ до південного кордону ще за 4 доби до початку вторгнення в Кувейт, що дало змогу ЦРУ кінцево спрогнозувати події у регіоні та завчасно передати офіційні матеріали для вирішення питань з Саудівською Аравією щодо розміщення на її території багатонаціональних сил та інші питання.

23 апарати радіо - і радіотехнічної розвідки (типів "FERRET", "Shale" "Wortex", "Jampsit" і інші) вели перехват сигналів і здійснювали прив'язку радіоелектронних засобів ПВО, пунктів управління і систем зв'язку Іраку.

Низькоорбітальні супутники "FERRET" застосовувалися для визначення типу, місцезнаходження і режимів роботи радіолокаційних станцій комплексів ППО, радіотехнічних засобів управління іракською авіацією, а також інших радіоелектронних засобів. Передача розвідувальних даних із КА "FERRET" здійснювалася в кодоцифровій формі по радіоканалу через супутники-ретранслятори "Flitsatcom" до споживачів тактичної ланки. Час доставлення інформації складав не більш 20 хвилин. Координати розвідувальних даних об'єктів визначалися з точністю до 1 км.

До контролю за районами запусків іракських ОТР залучалися космічні апарати системи "Imeus". Для коректування цифрових карт місцевості у

системах самонаведення крилатих ракет "Tomahawk" і оцінки результатії ракетно-бомбових ударів використовувалися дані комерційних супутників "Landsat" (США) і французького "SPOT".

В цілому дані космічної розвідки ефективно використовувались при плануванні масованих вогневих ударів із застосуванням високоточної зброї. Зокрема, на підставі супутникової розвідувальної інформації командування БНС проводило оперативну оцінку ступеня ураження цілей для планування наступних ударів.

У ході операції вперше була застосована система оперативної обробки доведення інформації "Constant Source" (10 пунктів прийому й обробки інформації), яка забезпечувала передачу інформації (на протязі 10 хвилин) з національного центру обробки розвідданих по супутникових каналах зв'язку безпосередньо на ТВД, включаючи командирів тактичної ланки.

Саме космічна розвідка дозволила завчасно розкрити ознаки підготовки Іраку до вторгнення в Кувейт. За 4 доби до початку воєнних дій космічні апарати "Aquasade" і "Shale" виявили активізацію роботи радіоелектронних засобів Іраку, а перенацілені на цей район КА КН-11 дозволили розкрити передислокацію іракських військ до кордону з Кувейтом і спрогнозувати ЦРУ США можливість нападу на Кувейт.

У ході операції "Буря в пустелі" космічні апарати видової розвідки забезпечували контроль району ведення воєнних дій з періодичністю 4-6 разів на добу при сприятливих метеорологічних умовах і 2-3 рази - при хмарній погоді. Їх застосування дозволило розкрити головні ударні угруповання іракської армії і виділити першочергові об'єкти для ураження. За допомогою КА КН-11 і КА "Lacrosse-1" здійснювалася розвідка других ешелонів армії Іраку, визначалися місця зосередження резервів, дислокації засобів доставки зброї масового знищення, авіації, ППО, уточнювалися координати пунктів військового і державного управління, найважливіших підприємств промисловості й об'єктів інфраструктури Іраку. Інформація використовувалася

також при виборі маршрутів польоту і розрахунку польотних завдань для крилатих ракет "Томаhawk".

Космічні апарати радіоелектронної розвідки дозволяли контролювати район Середнього Сходу. Вони використовувалися для викриття системи воєнного і державного управління Іраку, системи ППО, визначення типу, режиму роботи і місця розташування РЛС, засобів зв'язку і радіоелектронної боротьби, виявлення діючих пунктів управління військами, перехоплення повідомлень у мережах військового зв'язку.

В цілому засоби космічної розвідки дозволяли ефективно використовувати її дані при плануванні масованих вогневих ударів із застосуванням високоточної зброї. Зокрема на підставі супутникової розвідувальної інформації можна було проводити оперативну оцінку ступеня ураження цілей для планування подальших ударів.

Виявлення пусків іракських ОТР "Скад-Б" здійснювалося завдяки КА "Block-14", які були оснащені не тільки апаратурою, що дозволяла визначати старт і азимут пусків балістичних ракет, але і більш удосконаленою апаратурою, здатною визначати пуски ОТР. У зв'язку із загрозою застосування Іраком хімічної зброї командування багатонаціональних сил вжило спеціальних заходів щодо боротьби з іракськими оперативно-тактичними ракетами.

У надто стислі строки була створена регіональна система попередження про ракетний напад у складі двох КА "Block-14", наземних центрів "Imeus" і системи супутникового зв'язку. Інформація з КА передавалася в центр управління, прийому й обробки даних систем "Imeus", звідки ретранслювалася по каналах супутникового зв'язку в головний центр системи, розташований на КП НОРАД (м. Шайнен, штат Колорадо). Тут проводилася ідентифікація ракети по факелу двигунової установки та розраховувалася траєкторія її польоту. Дані про місце пуску і можливий район падіння ракети доводилися по каналах супутникового зв'язку до командування БНС і керівництва цивільної

оборони Саудівської Аравії або Ізраїлю (залежно від передбачуваного району падіння).

Для метеорологічного забезпечення застосовувалася космічна метеорологічна система Міністерства оборони США ДМСР. У ході підготовки і проведення операції "Буря в пустелі" вона застосовувалася при плануванні авіаційно-ракетних ударів, дій сухопутних військ і ВМС, а також прогнозування обстановки на випадок застосування Іраком хімічної і біологічної зброї, виборі районів ведення космічної оптико-електронної розвідки.

Американські експерти встановили чіткий взаємозв'язок між завданням Іраком ракетних ударів і метеорологічними умовами в західних і південних районах цієї держави. При сильній хмарності на півдні удари завдавалися по Саудівській Аравії, при аналогічних метеорологічних умовах на заході - по Ізраїлю. Довгострокові прогнози погоди дозволяли завчасно планувати заходи щодо пошуку мобільних ракетних комплексів і захисту цивільного населення.

Необхідно також відзначити, що для успішного вирішення завдань картографування з метою ведення бойових дій багатонаціональними силами були задіяні також супутники цивільного призначення, оскільки до середини 1990 року США мали лише застарілі топографічні карти Середнього Сходу 25-річної давності. Для оперативного виготовлення нових карт були використані багатоспектральні космічні знімки, отримані за допомогою космічних апаратів "Landsat-4" і "Landsat-5" (США) та "SPOT-1" і "SPOT-2" (Франція).

Військова користь цих супутників була продемонстрована під час війни у зоні Перської затоки, коли США та їх союзники використовували переваги, які давала можливість мультиспектральної зйомки великої території регіону, для коректування карт військового призначення і планування операцій. Виготовлені топографічні карти виявилися більш інформативними, оскільки видимі підземні геологічні структури дозволяли визначати оптимальні місця

розгортання аеродромів і будівництва інженерних споруд, вибирати шляхи пересування колон важкої військової техніки.

Американські супутники типу "Landsat" призначені для отримання цифрових мультиспектральних зображень поверхні Землі для різноманітних цивільних цілей, включаючи наукові дослідження, картографію і дослідження природних ресурсів. Французька супутникова система "SPOT", більше орієнтована на комерційні ринки, включаючи міське планування і генерування даних про землекористування для введення в бази даних географічної інформаційної системи. Військова користь цих супутників якраз і була продемонстрована під час війни у зоні Перської затоки, коли США та їх союзники використовували переваги, які давала можливість мультиспектральної зйомки великої території регіону, для коректування карт військового призначення і планування операцій. Виготовлені топографічні карти виявилися більш інформативними, тому що видимі підземні геологічні структури дозволяли визначати оптимальні місця розгортання аеродромів і будівництва інженерних споруд, вибирати шляхи пересування колон важкої військової техніки.

Оцінюючи результати операції "Буря в пустелі", можна з достатньою впевненістю зробити висновок про можливості значного збільшення боєздатності військ на ТВД за рахунок використання військово-космічних сил. Це підтверджується тим, що вони давали багатонаціональним силам оперативну інформацію про передислокацію іракських військ, забезпечуючи тим самим вогневе ураження сил і засобів армії Іраку, його военно-промислових об'єктів, а також оперативне управління військами та зброєю.

Головним\_недоліком, що суттєво обмежував можливості супутників ОЕР була хмарність у районах розвідки. Підвищення ефективності системи ОЕР була досягнуто за рахунок включення в неї КА радіолокаційної розвідки "Lacrosse" по проекту "Indigo". Але і "KH-11", і "Lacrosse" розроблялися насамперед для ведення стратегічної розвідки і тому раніше наземний та

орбітальний компоненти не застосовувалися при веденні оперативної розвідки з метою забезпечення дій угруповань військ на ТВД.

В зоні Перської затоки за оцінкою американських фахівців біля 70 відсотків завдань, що були покладені на розвідувальні супутники, мали тактичний характер. Тому у ході підготовки та ведення бойових дій іноді поставали великі складнощі, пов'язані з визначенням пріоритету виконання замовлення на розвідку, визначених різноманітними видами та родами військ, що привело до суттєвої втрати ступеню оперативності отримання даних споживачами.

Крім того були визначені і інші недоліки систем: несумісність систем отримання і передачі даних у військах, замала пропускна спроможність мереж зв'язку та відсутність необхідної кількості фахівців-дешифровальників знімків у штабах та військах на ТВД. З вищеназваних умов інформація видової розвідки не використовувалися для перенаведення ударних авіагруп на об'єкти, що відновлювали боєздатність після нанесення першого удару. Із-за організаційних затримок пілоти отримували супутникові зображення цілей добового терміну, що не давало змоги вирішити проблему знищення оперативно-тактичних ракет за допомогою оперативного стеження з космосу за переміщенням мобільних пускових ракетних установок "Скад" та виведення з ладу систем їх забезпечення.

Такі характеристики як висока розрізненна здатність та продуктивність ка "кн-11", "lacrose" необхідні при веденні глобальної стратегічної розвідки були визначені менш значними ніж частота повторного огляду та оперативної обробки і передачі даних, необхідних для вирішення завдань та твд.

Досвід війни у перській затоці став імпульсом для подальшого розвитку поглядів на застосування космічних систем у воєнних цілях, а також для визначення перспективних напрямів розвитку космічної техніки, наземних засобів обробки супутникової інформації. На основі цього досвіду та аналізу результатів бойового застосування космічних засобів США почалося

перепроєктування цілої низки перспективних систем, суттєво активізувалися роботи по втіленню у склад військ засобів прийому, аналізу та відображенню супутникової інформації. Була здійснена майже реформа у стандартизації щодо системи передачі-прийому і відображення даних космічної розвідки, яка безпосередньо забезпечувала цими даними засоби ураження (літак, ракетний комплекс) в ході бойових дій.

Ці та інші суттєві зміни вже знайшли відображення у застосуванні космічних засобів розвідки у Балканській кризі.

Таким чином, аналізуючи діяльність космічного угруповання США, слід виділити низку проблемних питань, які не дозволили в повному обсязі виконати поставлене завдання, а саме:

- через неповне розгортання орбітального угруповання КА видової розвідки і військових пунктів системи "Констант Соарс" доведення розвідданих здійснювалося недостатньо оперативно;

- в умовах застосування Іраком різних способів і засобів оперативного маскуванню, а також створення хибних об'єктів (пунктів управління, елементів системи ППО, броньованої техніки тощо) не завжди надійно забезпечувалося їх розпізнавання засобами космічної розвідки.

## **5.2. Досвід застосування космічних систем спостереження у Балканській кризі (1999 р.)**

Історія і сучасність показали нам велику кількість прикладів того, що крайній націоналізм стає причиною війн і етнічних зіткнень. Саме національне питання стало основною причиною виникнення конфлікту в сербській провінції Косово. Але поряд з цим, спільно з аксіомою існування балканського націоналізму, є чимало причин, які лежать в основі виникнення Косовського

конфлікту. До них можна віднести і геополітичне розташування регіону, і культурну та релігійну основу, і вплив політики сусідніх країн, а також політики блоку НАТО на чолі з США.



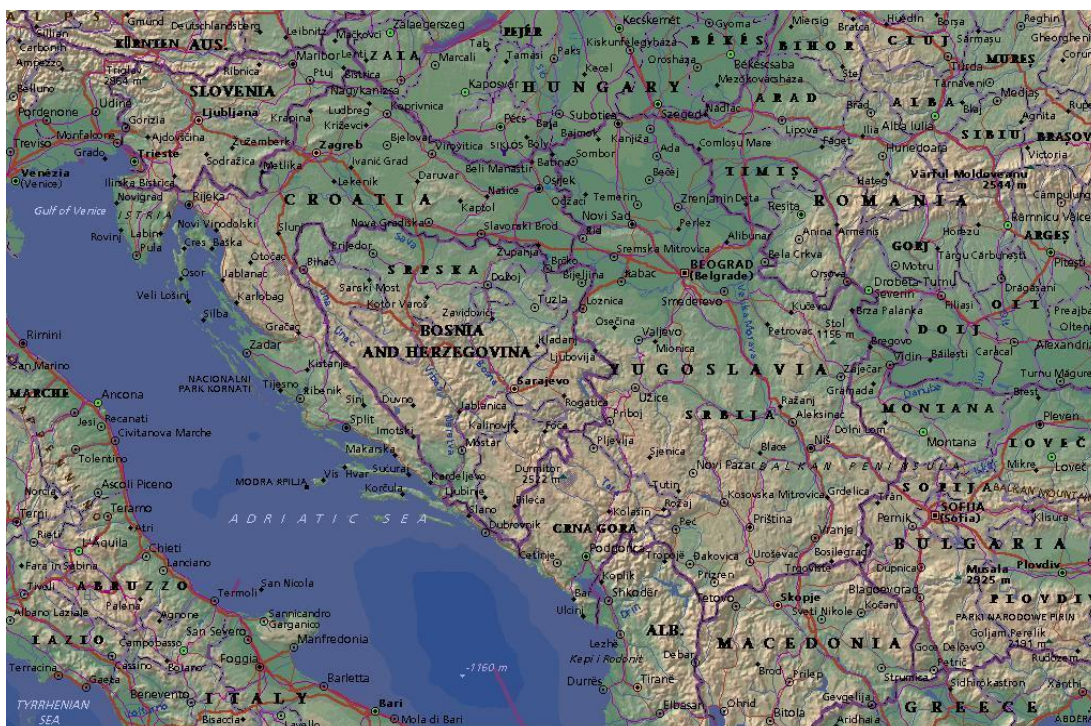
Політична карта світу: район Балканського півострова

Військова операція НАТО в Союзній Республіці Югославія була проголошена миротворчою і проводилася з метою встановлення миру в регіоні та недопущення гуманітарної катастрофи. Проте, як показують результати, це було одночасно і демонстрацією військової могутності Північноатлантичного альянсу. При цьому з боку США прослідковувалося явне прагнення нав'язати світу свою волю, а також закріпити панівний стан на Балканському півострові. Протягом одинадцяти тижнів воєнної кампанії НАТО проти Югославії США фактично проводили експериментальну повітряно-космічну ударну операцію нового типу “Союзницька сила” (24.03–10.06.1999р.). Головними цілями операції, як це випливає з аналізу результатів її проведення, були: ослаблення військових можливостей сербів як стратегічно, так і тактично; випробування у реальних бойових умовах розвідувально-ударних бойових систем, які включали

у свою структуру такі елементи, як розвідка, управління, доставлення високоточної зброї; зруйнування основ економічного потенціалу Югославії; оцінка ефективності високоточної зброї різного базування; документування результатів застосування конкретних типів озброєння й операції в цілому.

Однією з особливостей локальної війни ОЗС НАТО проти Югославії було проведення США великомасштабної сумісної розвідувальної операції, яка включала:

- космічну розвідувальну операцію сил космічної розвідки ЗС США;
- повітряну розвідувальну операцію "Око орла";
- розвідувальну діяльність авіації ДРЛВ, сил військової розвідки і ВМС (переважно РЕР).



Географічна карта світу: район Балканського півострову

Космічні засоби військового призначення грали в операції "Союзницька сила" не просто надзвичайно велику і важливу роль, але і являлися системоутворюючими військово-технічними інструментами ведення бойових дій. США створили потужне угруповання космічних засобів різного призначення (до 50 супутників). Над театром війни одночасно знаходилося 8-12 космічних апаратів, що разом із повітряними і морськими носіями були

основою бойових розвідувально-ударних систем. З космосу велось безупинне спостереження за ТВД супутниками оптико-електронної розвідки: КН-11, КН-12 (США), "Helios-1" (Франція) і радіолокаційної розвідки "Lacrosse" (США).

Космічні апарати розвідки природних ресурсів "SPOT" (Франція) передавали телевізійне зображення земної поверхні і документували експериментальні удари по об'єктах економіки й інфраструктури Сербії і Косова з метою визначення реальної ефективності високоточних крилатих ракет.

Поряд з цим, операція "Союзницька сила" довела, що можливості ЗС провідних країн світу з розвідки об'єктів ураження далеко не в повній мірі відповідають вимогам сучасних воєнних операцій і потребують серйозних зусиль в плані вдосконалення розвідувальної інфраструктури, автоматизації і оптимізації процесів збору, обробки, аналізу та розподілу розвідданих, кардинальної модернізації технічних засобів розвідки, що, в сукупності, пов'язано зі значними фінансовими витратами.

Операція укріпила в керівництві НАТО розуміння того, що система розвідувального забезпечення наступальних повітряних операцій повинна розглядатись як невід'ємний елемент загального автоматизованого процесу, який складається з попереднього визначення об'єктів ураження, виявлення і супроводження цілі, наведення засобів ураження та оцінки результатів удару (з можливим повторенням процесу, в разі недостатньої ефективності удару). Максимально можливе скорочення циклу даного процесу входить в число пріоритетних завдань, що стоять перед командуваннями збройних сил провідних країн альянсу в плані посилення ефективності повітряних ударів у майбутніх війнах (воєнних операціях) [54].

Уроки операції дозволяють командуванню провідних країн НАТО максимально ефективно скорегувати напрямки науково-дослідної і виробничої діяльності в галузі технічних засобів об'єктової розвідки, а також стимулювати пріоритетне фінансування відповідних проектів.

Повітряно-наступальна операція союзників, яка без наземної фази досягла мети війни, на всьому протязі часу була забезпечена діями більш ніж 50 американських та європейських КА. Значна частина цих КА була призначена для забезпечення дій збройних сил альянсу проти колишніх держав Варшавського договору. Ці апарати склали базову основу космічного

угруповання, що застосовувалася для проведення повітряної наступальної операції проти Югославії та виконували наступні завдання: ведення видової та радіоелектронної розвідки, забезпечення діючих сил НАТО надійним оперативним космічним зв'язком, навігаційною інформацією та даними за метеорологічну обстановку на ТВД. Тільки при плануванні та здійсненні повітряних ударів було передбачено та застосовано більш ніж 20 американських та європейських космічних апаратів.

На думку провідних воєнних експертів інтенсивне застосування космічних систем у ході бойових дій було визначено дуже складним рельєфом місцевості колишньої Югославії, необхідністю стовідсоткової координації дій різноманітних сил блоку, що мали діяти на значних відстанях однієї від іншої, шляхом широкого застосування космічних систем видової розвідки з КА "KH-11" та "Lacrosse", космічної радіонавігаційної системи "NAVSTAR" для корегування бортової навігаційної апаратури літаків та крилатих ракет, керованих авіаційних бомб, а також інших систем, які потребують надійного космічного оперативного зв'язку та визначення точних координат об'єктів, які спостерігаються.

Серед космічних систем, що відіграли найбільш значну роль у забезпеченні підготовки, планування та здійснення контролю за результатами нанесення ударів по об'єктах Югославії, західні фахівці визначають систему видової розвідки: радіолокаційної ("Lacrosse") та оптико-електронної ("KH-11"). Отримана від них інформація використовувалася для забезпечення видачі цільказівок по нанесенню ударів бойовими літаками НАТО та крилатими ракетами "Tomahawk" по різноманітних об'єктах, у тому числі і по мобільних ЗРК та колонах автомобільної і бронетанкової техніки збройних сил СРЮ. При цьому застосовувався алгоритм взаємодії КА, авіації та наземних засобів.

Коли дозволяли погодні умови та об'єкти противника не встигали маскуватися у гірській лісовій місцевості, система космічної оптико-електронної розвідки "KH-11" видавала цифрове зображення наземних цілей з максимальною розрізненною здатністю приблизно 10 см у масштабі часу

близького до реального. Три таких КА у взаємодії з трьома КА "Lacrosse" повністю забезпечили виконання завдань видової розвідки для забезпечення дій ВПС НАТО.

Вперше експериментально була випробувана система передачі розвідінформації із супутника на борт ударного літака, що в майбутньому буде складати одну із основ бойового забезпечення дій ВПС НАТО.

Існуюча на сьогодні в НАТО концепція і практика визначення об'єктів ураження при проведенні наступальних операцій виходить з того, що відповідні об'єкти повинні обиратись і класифікуватись з чітким урахуванням воєнно-політичних цілей операції, реальних оперативно-технічних спроможностей своїх сил, а також геополітичних, географічних, ландшафтних, кліматичних, погодних та інших особливостей ТВД. На практиці це означає, що поки технологічний рівень наявних на озброєнні США і НАТО систем об'єктової розвідки та засобів ураження не досягне рівня, який зможе забезпечити гарантоване ураження мобільних цілей за будь-яких умов обстановки, безумовний пріоритет при виборі цілей віддаватиметься стаціонарним, слабозахищеним об'єктам, зруйнування (виведення з ладу) яких може принести максимальний ефект при мінімальних витратах.

Таким чином, результати війни дозволяють однозначно стверджувати, що США й інші країни - члени НАТО прагнуть створити і підтримувати постійно діючу космічну інфраструктуру, яка включає необхідну кількість апаратів різного призначення, як основу бойових розвідувально-ударних систем повітряного і морського базування, здатних без попередньої підготовки завдавати масовані високоточні удари по об'єктах будь-якої держави у будь-якому регіоні нашої планети. Здається, що всі країни - члени альянсу будуть вимушені фінансувати створення і підтримку в постійній готовності такої космічної системи [54].

### 5.3. Досвід застосування космічних систем спостереження для забезпечення антитерористичної операції в Афганістані (2001 р.)

Контртерористичну операцію у Афганістані було розпочато під приводом боротьби з тероризмом у відповідь на проведення 9 вересня 2001 року міжнародною терористичною організацією Аль-Каїда на території США одного з найжахливіших терактів в історії людства.

Угрупування космічних апаратів розвідки для забезпечення антитерористичної операції в Афганістані з початку розгортання військ було здійснено



Афганістан (політична карта регіону)

шляхом перенацілення робочих програм двох космічних апаратів оптико-електронної розвідки "КН-11" та трьох космічних апаратів радіолокаційної розвідки "Lacrosse", додатково був здійснений запуск космічного апарату "КН-11" з покращеними характеристиками спеціальної апаратури для підвищення оперативності отримання інформації на даний регіон.

Крім того, для нарощування орбітального угруповання в інтересах операції антитерористичних сил залучались космічні апарати оптико-електронної розвідки Франції "Helios-1" та комерційні апарати дистанційного зондування землі "Iconos" (США), "SPOT-4" (Франція), "Landsat" (США) та "QuickBird" (ФРН) для отримання знімків території Афганістану високої розрізненної здатності до 1 м з метою підвищення оперативності та достовірності отриманої

інформації. Особливістю є те, що військове керівництво США придбало ексклюзивні права на знімки території Афганістану, які отримані комерційними супутниками. Угрупування космічних апаратів видової розвідки дозволило отримувати інформацію про стан основних об'єктів від тактичних до стратегічних, знищення яких значно знижує бойовий потенціал терористичних угруповань, здійснювати контроль ефективності ракетно-авіаційних ударів.

Висока оперативність в розгортанні та управлінні військами (силами) на необладнаному ТВД забезпечувалась, в першу чергу, широким використанням сучасних супутникових систем воєнного призначення, у тому числі й підпорядкованих по оперативній лінії об'єднаному командуванню НАТО. Космічні апарати використовувались для передачі основної маси інформації військового характеру (у виді закритих телефонних переговорів, масивів даних, факсимільних і телеграфних повідомлень) як усередині ТВД, так і за його

межами. Вони забезпечували отримання інформації щодо дислокації угруповань озброєних формувань руху Талібан та в цілому спостереження за веденням бойових дій в Афганістані. Супутники вели розвідку з максимальною розрізненною здатністю з використанням КА-ретрансляторів типу SDS та TDRS.

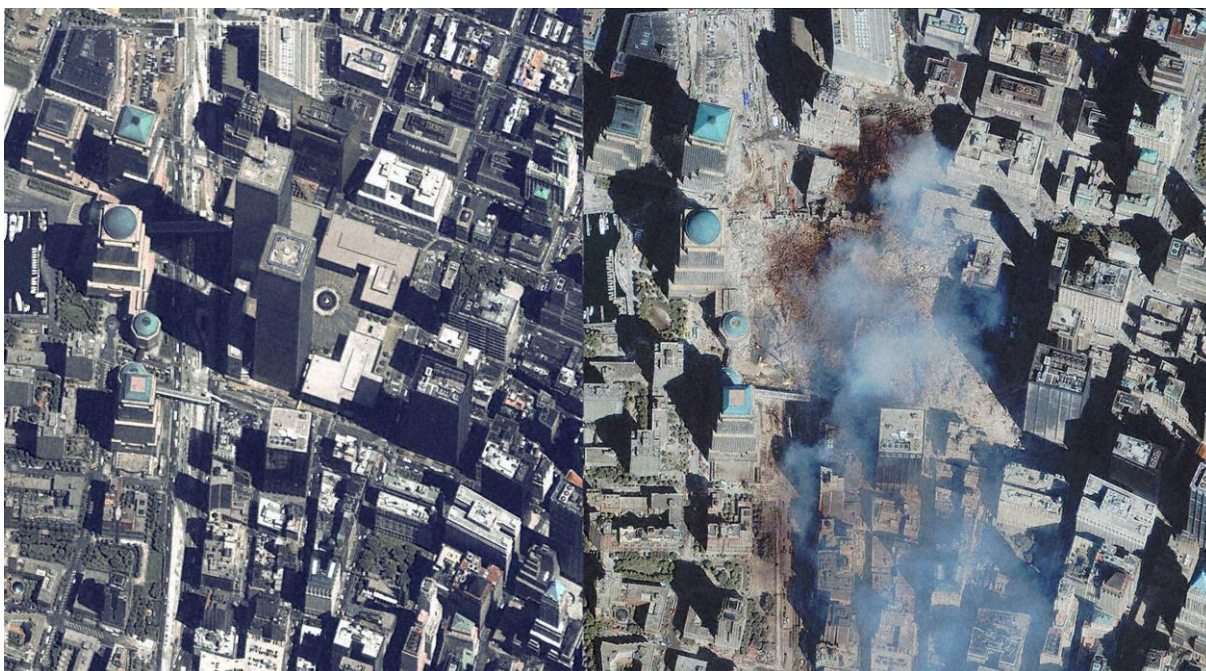


Географічна карта світу: Афганістан

З метою визначення ефективності ударів по території Афганістану та виявлення нових цілей США та Великобританією активно проводилася комплексна космічна розвідка території Афганістану за допомогою

розвідувальних супутників США, серед яких: "KH-11,"Lacrosse", "FERRET-D", "Tramper", "Orion", "Shale".

Крім того, з метою розширення можливостей видової розвідки США використовувалися і комерційні супутники типу "Iconos-2" (з максимальною розрізненням здатністю 1 м) та "Landsat-7", "TERRA" та "OrbView-2", що значно розширило їх можливості по складанню карт місцевості та інженерній оцінці району бойових дій.



Зображення Нью-Йорка 30 червня 2000 року і 15 вересня 2001 року, отримані за допомогою КА Iconos-2

Для перехоплення сигналів радіо, радіорелейних і тропосферних ліній зв'язку, сигналів бортових РЛС та іншої апаратури використовувались два супутника типу "Aquacade" ("Magnum" і "Mentor"). В склад супутникового угруповання ввійшли і шість КА стратегічної системи зв'язку DSCS, три супутника стратегічного і тактичного зв'язку "Millstar", два КА типу "UFO" оперативно-тактичної системи зв'язку ВМС, ВПС і СВ і шість супутників системи передачі даних SDS.

Космічна система "NAVSTAR", яка включає 24 оперативних КА забезпечувала безперервне, всепогодне навігаційно-часове забезпечення угруповання ЗС США.

Для планування і проведення операцій (особливо нанесення ракетно-бомбових ударів) широко застосовувалась інформація, яка надходила від космічних апаратів національної системи контролю за навколишнім середовищем, яка використовувалась для складання метеозведень, метеокарт, глобальних і локальних прогнозів терміном від 1 доби до двох неділь. Найбільш повно використовувались КА типу "Block-5D2-8" та "Block-5D3-1". Для метрологічного забезпечення угруповання ВМС використовувались КА типу "Quicksat", які дозволяли визначати швидкість і напрямок вітру над океанською поверхнею.

Таким чином, попередній аналіз застосування сил космічної розвідки показав, що супутникові системи США використовувались з максимальною віддачею і забезпечили успішне проведення антитерористичної операції. На відміну від періоду війни у районі Перської затоки (коли КА воєнного призначення були взагалі не взаємосумісними або обмежено сполучались між собою) західні фахівці підкреслюють високу практичну взаємосумісність військ США та Великобританії під час проведення операції, особливо з питань управління та інформаційного забезпечення.

Разом з тим відмічається ряд недоліків, в тому числі, відсутність радіолокаційних і оптико-електронних розвідувальних систем, які орієнтовані на споживача в тактичній ланці, що в ряді випадків привело до несвоєчасного отримання споживачами розвідувальних даних. Крім того, недостатня періодичність спостереження району ведення бойових дій не дозволила в повному обсязі проконтролювати переміщення сил і засобів талібів.

#### 5.4. Досвід застосування космічних систем спостереження в зоні бойових дій в Іраку (2002-2004 рр.)

Формальним приводом для вторгнення Багатонаціональних сил на територію Іраку стали запевнення головними розвідувальними відомствами США та Великої Британії своїх урядів про розробку Саддамом Хусейном зброї масового знищення. Зазначена війна значно відрізняється від попередніх як характером застосування військ, так і порядком застосування засобів космічної розвідки.

У порівнянні з Балканською кризою завчасно проведено нарощування орбітального угруповання розвідки за рахунок виведення на орбіти:

- у 1999 році КА ОЕР і РТР Франції Helios-1В (і переведено ще одного КА ресурсу в оперативне використання);
- у 2000 році КА РЛР США Lacrosse-4 (USA-152);
- у 2001 році КА ОЕР США KH-11-13 (USA-161);
- у 2002 році КА ОЕР Франції SPOT-5.

Аналіз наявних даних дозволяє зробити висновок про те, що в зоні Іраку використовувалось до 124 КА США та НАТО, розподіл яких приведений в табл.5.2.

Таблиця 5.2

#### Розподіл КА США та НАТО, які забезпечували операції в зоні Іраку в 2002-2004 роках

Тип КА	Кількість
1.Розвідувальні	40
1.1.Оптико-електронна	9
1.2. Радіолокаційна	3
1.3. Радіотехнічна і радіоелектронна	28
2. Виявлення стартів БР і ядерних вибухів	2 (з семи)
3. Навігаційні	27
4. Метеозабезпечення	4+15
5. Зв'язкові	36
Усього	124

Інтенсивність ведення космічної розвідки Іраку з 08.12.2002 року по 08.01.2003 року показана на діаграмі (рис.5.1).

Успіх бойових дій коаліційних сил у зоні Перської затоки в значній мірі визначався оперативністю й ефективністю ведення розвідки. Перед розвідкою ставилися завдання: забезпечити інформацією вищі військово-політичні керівництва США і Великобританії для прийняття стратегічних рішень; добувати дані оперативного і тактичного характеру в інтересах командування коаліційних сил, командирів з'єднань і частин; видавати цілевказівки для засобів вогневого ураження. Ці завдання вирішувалися шляхом комплексного використання сил і засобів усіх видів національної та військової розвідок США і Великобританії.

Розвідувальне забезпечення військових операцій (умовні назви: «Сприятлива можливість», «Шок і трепет», «Стабілізація та відновлення») здійснювалося як у ході бойових дій, так і на етапі стратегічного розгортання та підготовки угруповання коаліційних сил до війни.

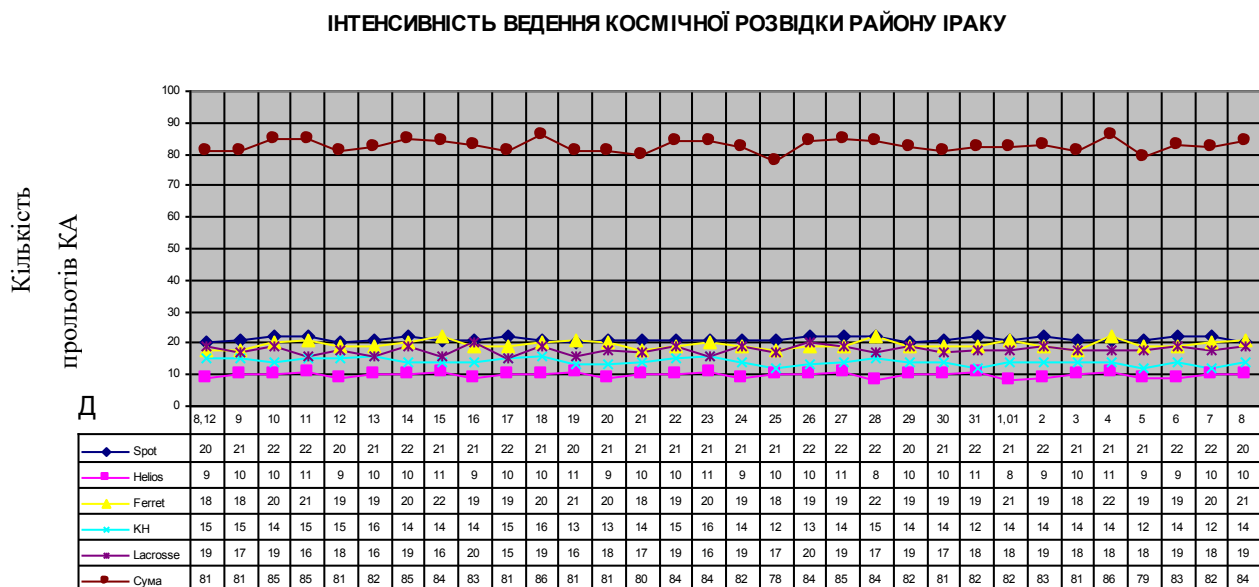


Рис.5.1. Діаграма інтенсивності ведення космічної розвідки Іраку з 08.12.2002 року по 08.01.2003 року

Основні зусилля розвідки зосереджувалися на:

- розкритті заходів щодо підготовки Іраку до ведення бойових дій;
- спостереженні за ходом оперативного розгортання іракських збройних сил;
- підготовці даних щодо цілей на іракській території в інтересах планування ракетно-бомбових ударів і радіоелектронного придушення;
- оцінці результатів ракетно-бомбових ударів і виявленні нових цілей для ураження, у першу чергу, мобільних оперативно-тактичних ракет «Скад»;
- спостереженні за пересуваннями іракських військ та авіації, а також контролем за повітряним простором, насамперед, в інтересах виявлення пусків іракських ракет;
- забезпеченні заходів щодо контролю за судноплавством і проведенні морської Влокади в Перській затоці;
- виявленні лабораторій виробництва зброї масового ураження і засобів її доставки;
- виявленні та визначенні місцезнаходження лідерів керівництва Іраку та військових формувань.

Розвідка проводилася, в основному, силами і засобами Центрального розвідувального управління США (супутниками видової розвідки), Агентства національної безпеки та Розвідувального управління міністерства оборони США (космічними та наземними засобами стратегічної, радіо- і радіотехнічної розвідки), стратегічними та тактичними літаками-розвідниками бойового авіаційного командування ВПС США і ВПС Великобританії, літаками дальнього радіолокаційного виявлення та управління (ДРЛВУ) Е-3 системи «АВАКС» ВПС США, Великобританії та НАТО, безпілотними літальними апаратами, а також засобами морської та повітряної розвідки 5-го, 6-го і 7-го оперативних флотів ВМС США.

Головну роль в забезпеченні підготовки і ведення військових операцій коаліційних сил проти Іраку займала, також, радіоелектронна боротьба (РЕБ).

Військові фахівці відмічають зростання ролі супутникових систем у забезпеченні розвідувальною й іншою інформацією військового призначення угруповання коаліційних військ на всіх етапах проведення військової операції «Свобода Іраку», а також комплексне застосування військових та комерційних космічних апаратів (КА) в інтересах усіх видів збройних сил США.

Космічні розвідувальні системи призначалися для забезпечення коаліційних військ своєчасними та достовірними даними щодо утворення угруповань військ збройних сил Іраку, розкриття ймовірного задуму їхнього застосування, боєздатності та готовності до нанесення ударів, а також для добування відомостей про особливості місцевості й інфраструктури.

Відомості щодо угруповання космічних апаратів, задіяних для ведення розвідки в зоні Перської затоки, наведено в табл. 5.3.

КА оптико-електронної розвідки (ОЕР) типу «КН-11» ВПС США оснащені оптико-електронною й інфрачервоною апаратурою з розрізненною здатністю 10–15 см. Ці великогабаритні супутники двічі на добу пролітали над територією Іраку, роблячи 10 тисяч знімків, які передавалися на наземні приймальні пункти даних у реальному масштабі часу.

Встановлені на них камери були обладнані об'єктивами, які можуть наводитися на об'єкт спостереження за командою з наземних пунктів управління. Це дозволило цілеспрямовано розширювати зону поверхні, що підлягала фотографуванню.

У часових інтервалах між прольотами супутників типу «КН-11» над територією Іраку пролітали менші за розмірами КА радіолокаційної розвідки (РЛР) типу «Lacrosse» Національного управління повітряно-космічної розвідки США. Дані КА оснащені РЛС із синтезованою апертурою антени з розрізненною здатністю на місцевості 30-90 см, які здійснювали зйомку наземних об'єктів в несприятливих метеоумовах (щільна хмарність, піщані бурі,

сильна задимленість через пожари на підприємствах нафтової промисловості), коли суттєво знижувалась ефективність ведення космічної оптико-електронної розвідки.

Таблиця 5.3

### Угрупування космічних апаратів, задіяних для ведення розвідки в зоні Перської затоки

з/п	Найменування КА	Призначення КА	Національна належність	Прибл. кількість
	«KH-11 »	Ведення оптико-електронної	США	3
	«Lacrosse-2,-	Ведення радіолокаційної розвідки	США	3
	«Jerome-1»	Ведення радіорозвідки	США	1
	«Magnum»	Ведення радіорозвідки	США	1
	«Jampsit-1, -2»	Ведення радіорозвідки	США	6
	«FERRET-D»	Ведення радіотехнічної розвідки	США	4
	«NOSS/SSU-	Ведення радіотехнічної розвідки	США	10
	«Imeus-2»	Виявлення стартів балістичних	США	2
	«Iconos-2»	Дистанційне зондування Землі	США	1
	«QuickBird-2»	Дистанційне зондування Землі	США	1
	«MTI»	Дистанційне зондування Землі	США	1
	«EO-1»	Дистанційне зондування Землі	США	1
	«Landsat-4, -5,	Дистанційне зондування Землі	США	3
	«OFEQ-5»	Ведення оптико-електронної	Ізраїл	1
	«EROS-A, -B»	Дистанційне зондування Землі	Ізраїл	4

Безперервність ведення космічної видової розвідки досягалась наступними заходами. Корегування орбіт космічних апаратів ОЕР та РЛР було здійснено таким чином, що кожні 2-3 години один із них проходив над територією Іраку, передаючи інформацію на наземні станції прийому даних у реальному масштабі часу. Функціонування кожного із шести задіяних космічних апаратів було скоординовано з іншими п'ятьма. Таким чином, космічна розвідувальна інформація про бойову обстановку на території Іраку оновлювалася протягом доби близько 12 разів.

Паралельно із супутниками видової розвідки використовувалися КА РР (радіорозвідки), РТР (радіотехнічної розвідки) або РЕР (радіоелектронної розвідки) типів «Jerome», «Aquacade» («Magnum») і «Jampsit» ВПС США, які знаходяться на квазістаціонарних (КА «Jerome-1» - підсупутникова точка 9 град. сх. д., КА «Magnum» - підсупутникова точка 70 град. сх. д.) і високоеліптичних (КА «Jampsit-1,-2») орбітах. Ці космічні апарати здійснювали перехоплення повідомлень, які передавалися іракськими каналами радіозв'язку. Крім того, зазначені супутники можуть перехоплювати розмови, що ведуться за допомогою мобільних телефонів, а також приймати сигнали телебачення. Перехоплення здійснювалося, як правило, у вибіркового режимі за допомогою програмного забезпечення, побудованого на визначенні ключових слів і фраз. Під час цього фіксувалися номери телефонів, час і місце, звідкіля велися переговори. У ряді випадків спеціальне програмне забезпечення виявляло визначених абонентів за особливостями їхніх голосів. Відзначається, також, здатність встановленої апаратури розшифровувати кодовані повідомлення.

Крім того, КА РЕР ефективно вели радіоелектронну розвідку на значному віддаленні від території Іраку, коли вони пролітали, наприклад, над територією Саудівської Аравії чи Туреччини.

Космічні апарати радіотехнічної розвідки (РТР) «FERRET-D» ВПС США та «NOSS/SSU-2» ВМС США були задіяні з метою розкриття системи протиповітряної оборони (ППО) Іраку.

Виявлення пусків і супроводження польотів іракських оперативно-тактичних ракет «Скад» здійснювалося за допомогою двох супутників виявлення стартів балістичних ракет наземного базування в районі Близького Сходу «Imeus-2-18, -2-20» (підсупутникові точки 69,3 град. сх. д. та 8 град. сх. д. відповідно). Телескопи даних космічних апаратів працюють у двох інфрачервоних діапазонах (із максимальною чутливістю на довжині хвилі 2,7 мкм та 4,3 мкм), що дозволяло більш точно класифікувати ракети, які запускалися, та визначати параметри їхнього руху.

Відомості від супутників поступали в реальному масштабі часу на мобільну станцію прийому, обробки та передачі даних попередження про ракетний напад JTACS (Joint Tactical Ground Station), яка знаходилась на території Саудівської Аравії. Обробка сигналів, що поступали від космічної системи «Imeus-2», безпосередньо у регіоні дозволила військам коаліції своєчасно виявляти пуски ракет, розраховувати траєкторії їхнього польоту, визначати райони падіння боєголовок та оперативно доводити розвіддані до органів управління військами. Відомості також поступали на пункти бойового керування зенітно-ракетними комплексами (ЗРК) «Patriot», завдяки чому підвищилася ефективність їх застосування.

Станція JTACS вперше була використана американськими військами у 2001 - 2002 роках під час проведення операції в Афганістані «Непохитна свобода».

Крім того, для забезпечення повноти отримання видової розвідувальної інформації щодо об'єктів, розташованих на території Іраку, додатково використовувалися можливості американських комерційних супутників дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) «QuickBird-2», «Iconos-2», «EO-1», «МТІ» та «Landsat-4,-5,-7», на яких встановлено оптико-електронну апаратуру з розрізненною здатністю 0,61–2,5 м, 1–4 м, 5–20 м, 0,8–3,2 м та 15–30 м відповідно. З цією ж метою були задіяні ізраїльські супутники - військовий КА ОЕР «OFEQ-5» і комерційні супутники ДЗЗ типу «EROS-A,-B» із розрізненною здатністю 0,5–0,6 м та 0,82–4м відповідно.

Американський супутник «МТІ» додатково був задіяний для визначення місцеположення лабораторій виробництва зброї масового ураження за допомогою встановленої бортової спеціальної апаратури виявлення підприємств, що виробляють радіоактивні матеріали та компоненти хімічної зброї.

Відомості від комерційних супутників поступали у реальному масштабі часу на наземні станції прийому інформації та мобільну станцію прийому,

обробки та передачі даних "Eagle Vision" із метою поповнення бази розвідувальних знімків.

Під час воєнних дій проти Іраку застосовувалися американські КА глобальної супутникової системи визначення місцеположення GPS / «NAVSTAR-2R,-2F», які забезпечили наведення високоточної зброї, включаючи крилаті ракети морського базування «Tomahawk», бомби GBU-31 JDAM (Join Direct Attact Munition) і бетонопробивні бомби об'ємного вибуху, на визначені об'єкти.

З боку іракських сил були спроби застосування 6 наземних станцій радіоелектронних завад для подавлення американської супутникової навігаційної системи GPS/«Навстар». Але ці станції було своєчасно ідентифіковано та знищено.

Для забезпечення якісної та своєчасної передачі розвідувальної й іншої інформації військового характеру були задіяні не тільки військові та комерційні американські супутники зв'язку «DSCS-3», «SDS-2», «Millstar-2», «Afsatcom», «Flitsatcom», «Inmarsat» тощо, але і військові супутники зв'язку «Skynet-4» Великобританії. Незадовго до початку воєнних дій англійські супутники зв'язку над Атлантичним й Індійським океанами були переміщені на найближчі до території Іраку орбіти.

Вся отримана космічна розвідувальна інформація безпосередньо передавалася представникам Космічного командування США, які знаходилися в центрі управління повітряними операціями САОС (ЦУПО), розгорнутому на авіабазі «Принц-Султан» (Ель-Хардж, Саудівська Аравія), а також на наземні станції прийому даних, розташовані на території Великобританії (поблизу м. Менвіт Хілл) та США (поблизу м.Форд Мід).

Під час планування та ведення бойових дій здійснювалась оперативна координація застосування космічних засобів. Наприклад, при плануванні нанесення повторних ракетно-бомбових ударів штаби ВПС погоджували свої завдання з умовами найбільш ефективного розташування супутників системи

GPS/«NAVSTAR» над полем бою, отримували дані щодо метеообстановки та зображення об'єктів, використовували канали супутникового зв'язку. Крім того, фахівці Космічного командування США інформували штаби видів збройних сил про поточні й інші можливості космічних засобів.

У лютому 2000 року відбувся 11-добовий політ американського багаторазового транспортного космічного корабля «Endeavour-14-97» за програмою «Радіолокаційної топографії» (SRTM – Shuttle Radar Topography Mission). За допомогою встановленої на ньому радіолокаційної системи SIR-C/X-SAR було отримано тривимірні цифрові топографічні карти Іраку. Ця операція дозволила закласти точні координати цілей в системи наведення крилатих ракет «Tomahawk» і керованих авіабомб, сприяла поліпшенню орієнтування військових підрозділів на місцевості та плануванню польотів авіації і бойових дій коаліційних сил в цілому. При цьому на електронну карту рельєфу місцевості, введена в комп'ютери автоматизованих систем обробки розвідінформації, накладалася оперативна інформація про угруповання збройних сил Іраку.

Таким чином, досвід воєнних конфліктів свідчить, що система космічної розвідки є необхідним елементом інфраструктури держави, яка має сучасні збройні сили. Застосування космічних систем є тим критичним фактором, який заздалегідь забезпечує країнам, що їх використовують, перемогу у збройних конфліктах. Крім США, РФ, Китаю системи космічної розвідки мають Франція, Іспанія, Італія, Ізраїль, Індія і прагнуть створити такі системи Південна Корея, Туреччина та Україна. Подальший розвиток в цьому напрямку закордонні фахівці пов'язують з підвищенням ефективності застосування сил та засобів оперативного та тактичного призначення на підставі удосконалення засобів космічного забезпечення, концепції розвитку «малих супутників», розробки та застосування засобів ураження з космічним базуванням.

Аналіз науково-технічної інформації з друкованих та електронних джерел дає підстави зробити висновки про такі перспективні напрямки розвитку

космічних систем спостереження військового призначення провідних країн світу:

1. На даний час активно нарощується космічне угруповання воєнного призначення. Проводиться планова заміна космічних апаратів із застарілим обладнанням на більш сучасні, з можливістю повної обробки інформації безпосередньо на борту та передачі її в поточному часі не тільки на пункти управління, а й на засоби ураження.

2. В останній час у провідних країнах світу намітилася тенденція розробок мікросупутників, які матимуть невелику вагу (50-200 кг), цифрові телевізійні камери з розрізненною здатністю 1–3 метри, орієнтовна вартість таких КА складатиме 100–200 млн \$ та надмалих наносупутників.

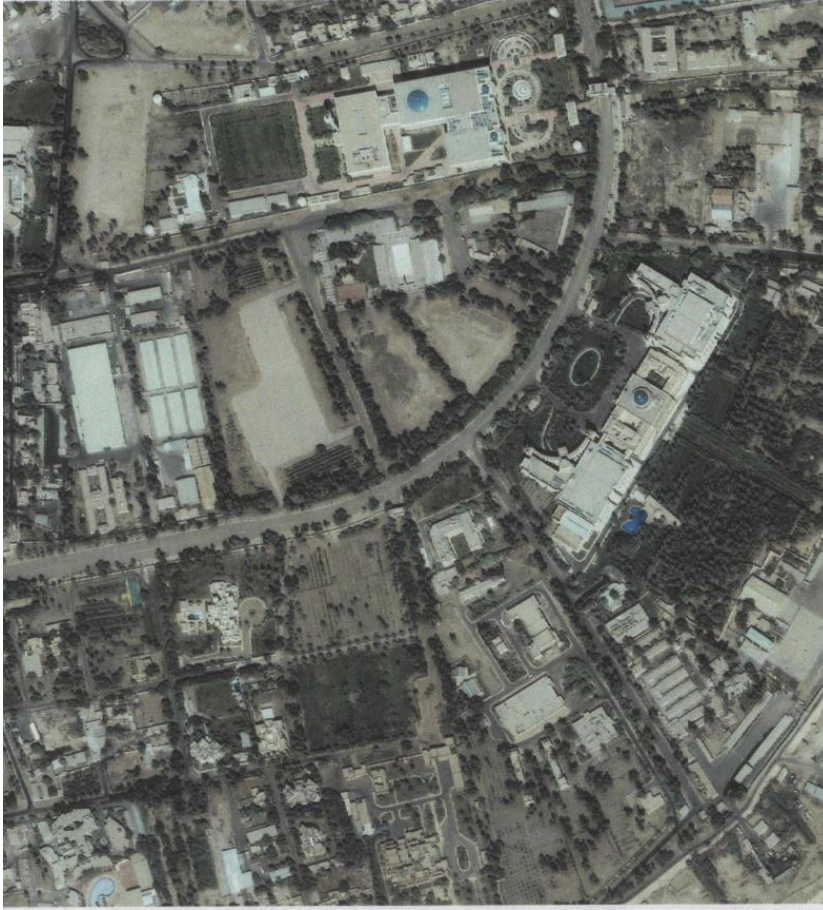
Мала вага, розміри та вартість таких КА дозволить здійснювати їх запуск по декілька одиниць, або, як попутний вантаж, при запуску інших космічних апаратів у разі виникнення необхідності, або у кризовій ситуації тощо. Такі космічні апарати спроможні вести спостереження з меншою ефективністю ніж сучасні, але вони забезпечать більш оперативне вирішення задач спостереження за визначеними районами та об'єктами.

3. Сьогодні політика США в області реалізації космічних знімків спрямована на одержання інформаційної переваги і визначається директивою президента США PDD-23, що регламентує можливості доступу користувачів інших країн до американських космічних знімків. З інформаційних та фінансових міркувань у військових цілях використовуються не тільки суто воєнні а й комерційні космічні апарати.

4. На відміну від США, європейські країни шукають більш прагматичні підходи до рішення проблеми створення космічних засобів спостереження. Вони намагаються розділити фінансовий тягар між декількома учасниками і створити багатоцільові системи, розраховані на військових, цивільних і комерційних замовників і створюють міжнародні спільні проекти.



а)



б)

Республіканський палац (Багдад), до бомбардування (а) та після бомбардування (б) 10.04.03.  
Знімок з КА QuickBird з розрізненістю 0,9 м



© Space Imaging Eurasia (9/20/01)

Basra, Iraq - 20 September 2001



Basra, Iraq - 23 March 2003

Багатоспектральний знімок з КА Ikonos з розрізненістю 1 м

Аналіз застосування космічних апаратів і угруповань при підготовці і в ході операцій “Щит пустелі”, об’єднаних збройних сил НАТО при підготовці і в ході операції “Союзницька сила”, коаліційних сил на чолі з США при підготовці і в ході антитерористичної операції “Непохитна свобода”, а також аналіз застосування космічних апаратів і угруповань в період мирного часу такими країнами, як США, Росія, Франція, Ізраїль, Німеччина, та іншими країнами дозволяє визначити такі світові тенденції:

- інтеграція засобів космічної розвідки і засобів ураження противника;
- спільне застосування військових і цивільних видових засобів космічної розвідки і спостереження для отримання даних про противника та його об’єкти;
- активне ведення космічної розвідки до початку бойових дій на стадії, коли конфлікт лише починає назрівати (за 5-6 місяців);
- перетворення космічних засобів розвідки в системоутворюючу основу розвідувально-ударних бойових систем повітряного і морського базування;
- наведення крилатих ракет на конкретну ціль по координатах, отриманих завдяки видовим засобам космічної розвідки, у режимі повного радіомовчання за допомогою космічної навігаційної системи “NAVSTAR”;
- збільшення кількості країн, які приймають участь в космічних програмах по створенню космічних видових засобів розвідки і спостереження з високою розрізненною здатністю на місцевості в межах 1–5 метрів, що робить можливим вже сьогодні по цифрових зображеннях детально дешифрувати до класу і типу такі наземні об’єкти, як бронетанкова техніка, літаки, аеродроми, військові підрозділи, мости, морські порти, залізничні станції та інші;
- підвищення точності топоприв’язки завдяки застосуванню засобів GPS (0,1 м);
- підвищення надійності зв’язку, що пов’язане з використанням комерційних супутникових систем зв’язку. Це забезпечило багаторазове дублювання і резервування каналів зв’язку, а також розширення спектру послуг (відеотелефонія, швидкісна передача даних і т.д.).

## **6. ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОСМІЧНИХ СИСТЕМ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

У літературі [6, 10, 34–42, 54, 60] досить детально представлені результати аналізу напрямків удосконалення космічних систем ДЗЗ з метою покращення їх характеристик (просторової розрізненості, швидкості передачі інформації з борту на Землю, радіометричної якості тощо). Крім того з аналізу літератури випливає наступний висновок: встановлена на супутниковій платформі оптико-електронна система має, як правило, декілька робочих спектральних каналів. До 2000 року кількість робочих оптико-електронних каналів обмежувалась одиницями. Деякі сучасні супутники мають оптико-електронну апаратуру з десятками і навіть сотнями робочих спектральних каналів. Смуга частот, що відводиться на кожний такий канал, є дуже вузькою, а загальна смуга спектральної чутливості системи може охоплювати декілька інтервалів – від ультрафіолетового до далекого інфрачервоного. При цьому виникає проблема забезпечення високої просторової та радіометричної розрізненості. Досвід інтерпретації знімків свідчить, що зображення, отримані у “вузьких” спектральних смугах частот (“вікнах”), несуть додаткову унікальну інформацію про властивості об’єктів зондування. Схема розподілу тематичних завдань ДЗЗ в координатах “просторова розрізненість – довжина хвиль” наведена на рис.2.1 (розділ 2).

Тактико-технічні характеристики сучасних космічних систем ДЗЗ, знімки яких розповсюджуються на світовому ринку, наведені у табл.6.1. На основі аналізу потреб ринку проведене ранжирування основних характеристик детальних комерційних зображень (у порядку убубання пріоритету) [36]:

- просторова розрізненість;
- спектральна розрізненість;
- частота перегляду;
- розмір кадру на місцевості;

- оперативність виконання заявки;
- конфіденційність;
- права по копіюванню і поширенню зображень.

Таблиця 6.1

## Тактико-технічні характеристики сучасних космічних систем ДЗЗ

Космічна система (платформа)	Країна (агентство)	Сенсори	Просторова розрізненість на місцевості, м, у спектральному діапазоні							Ширина смуги охоплення, км	
			Панхроматичному	Видимому	БІЧ	СІЧ-А	СІЧ-В	ДІЧ	МРХ		
“Key-Hole”	США	КН-11	0,15								
		КН-11А	0,1	0,25	0,25						
Iconos-2		PAN	1							11	
		MS		4	4					11	
Landsat-5		MSS		80	80					183	
		TM		30	30			120		183	
Landsat-7		ETM+	15	30	30	30	30	60		183	
EO-1		“Hyperion”		220 спектр. каналів з розрізненістю 30 м							7,7
		ALI		Те саме, 10 каналів							37
Quick-Bird		“Panchromatic”	0,61 (0,72)								16,5
		“Multi-spectral”		2,44 (2,88)							
TERRA		США, Японія	MODIS	36 спектральних каналів просторовою розрізненістю 250 м (день) або 1000 м (ніч)							2330
			ASTER	36 спектр. каналів з розрізненістю 15-30 м					90		
SPOT-4		Франція	HRVIR	10	20	20					60 (117-2 сенсори)
SPOT-5	HRG		2,5-5,0	10	10					60 (117-2 сенсори)	
	HRS		10							120	
FSW-1	Китай	FOTO/CCD	10-15	10-15	50						
“Helios-2”	Франція, Італія, Іспанія	OEA/IR		0,5							
IRS-1D	Індія	PAN	5,8							63-70	
		LISS-III		23,5	23,5	70,5				127-141	
JERS-1	Японія	OPS		18x24	18x24					75	
		SAR						18		75	
EROS-A	Ізраїль	CCD	1,8							13,5	
“Комета”	Росія	КВР-1000	2								
		ТК-350		10							
“Ресурс-Ф1М”				5						70	
“Алмаз-1Б”		МСУ-Э2		10	10					45	
		МСУ-СК		140	140			550		600	
		РСА-3							5-7	330	
RADAR-SAT-1	Канада	SAR						25x28	100-510		
ERS-2	(ESA)	AMI/SAR						30	100		
“Envisat”	(ESA)	MERIS		260x300						1150	

		ASAR							30	400
VEGA	США	SAR							1,6	<10
“Океан-0”	Росія, Україна	МСУ-В		50	50	100			250	195
		РЛСБО							1300	455
“Січ-1М”	Україна, Росія	МСУ-ЭУ		24x34						48 (80- 2 сенсори)
		РЛСБО								
COSMO-SkyMed	Італія, Іспанія, Греція	ОЕА	0,8-1,0	5	5	7,5				15
		SAR-2000							3	

Просторова розрізненність визначає детальність зображень, тобто їх інформаційну спроможність забезпечувати рішення цільових задач. За зображеннями, що формуються засобами космічного спостереження, можуть бути виявлені об’єкти спостереження та розпізнанні до виду і типу. Рівень вирішення вказаних завдань залежить від відношення мінімальних лінійних розмірів об’єктів спостереження до розрізненності зображення. За критерієм Джексона кількість розрізнявальних елементів на мінімальному розмірі об’єкта спостереження для виявлення, класифікації до типу та розпізнавання його виду вказані в табл.6.2 [8]. Однак слід мати на увазі, що крім геометричних характеристик зображення на рівень вирішуваних завдань впливає також яскравість, контрастність та інші параметри зображення.

Найкращу детальність зображень космічного спостереження забезпечують оптико-електронні засоби. Просторова розрізненність їх зображень визначається миттєвим полем зору елементарного інформаційного каналу та висотою носія оптико-електронної апаратури спостереження. Зменшення висоти космічної зйомки веде до покращення розрізненної здатності (зменшення лінійних розмірів деталей об’єктів спостереження, які будуть видимі на зображенні), але при цьому зменшується час активного існування космічного апарата і, як наслідок, підвищується ціна космічних знімків. Зменшення висоти космічної зйомки призводить також до зменшення розмірів поверхні, що потрапляє до кадру зображення, при визначеному полі зору технічного засобу ДЗЗ. Аналіз науково-технічної інформації показує, що сучасні оптико-електронні засоби спроможні створювати розміри кадру

зображення високої розрізненості розміром всього в 10–20 тис. разів більше розміру проекції одиничного елемента матриці ПЗЗ. Крім того зменшення висоти космічної зйомки приводить до звуження смуги захоплення системи спостереження і, як наслідок, до збільшення періодичності спостереження визначених районів.

Таблиця 6.2

**Необхідні співвідношення між лінійними розмірами об'єктів спостереження та розрізненною здатністю**

Глибина розпізнавання об'єктів космічного спостереження	Кількість розрізнявальних елементів на мінімальний розмір об'єкта
Виявлення (визначення орієнтації та форми)	1,5...3,0
Класифікація (розрізняється вид об'єкта: корабель, літак, будівля та ін.)	6,4...8,4
Розпізнавання (встановлюється тип об'єкта: корабель – пасажирський; літак – транспортний; будівля – житлова)	10,0...16,0

В роботі [42] проведено узагальнення вимог до космічних систем ДЗЗ по просторовій розрізненості та періодичності оновлення даних (рис.6.1) для вирішення п'яти типів завдань.

Сьогодні у світі досягнуті такі показники основних характеристик космічних засобів спостереження [6, 10, 35-42]:

*в оптико-електронному спостереженні* – один космічний апарат США типу КН-11 дозволяє двічі на добу вести оглядове спостереження об'єктів у смугі до 3600 кілометрів, та детальну спостереження у смугі 15 кілометрів з розрізненною здатністю 15 сантиметрів при цьому охопивши територію 30 районів площею 90x120 км або до 400 об'єктів з оперативністю отримання матеріалів від 1,5 до 2 годин. Угруповання з трьох таких космічних апаратів видає інформацію на пункти управління в реальному масштабі часу. Аналогічні

системи є також в Росії (космічний апарат “Аракс”) та Франції (космічний апарат “Helios”);

в радіолокаційному спостереженні – космічні апарати здатні вести спостереження цілодобово, незалежно від погодних умов, в оглядовому режимі у смузі до 3100 км з розрізненням здатністю до 20 метрів та детальному режимі – в смузі 20 кілометрів з розрізненням здатністю 30-90 см (космічний апарат “Lacrosse” США) з оперативністю до 2 годин.

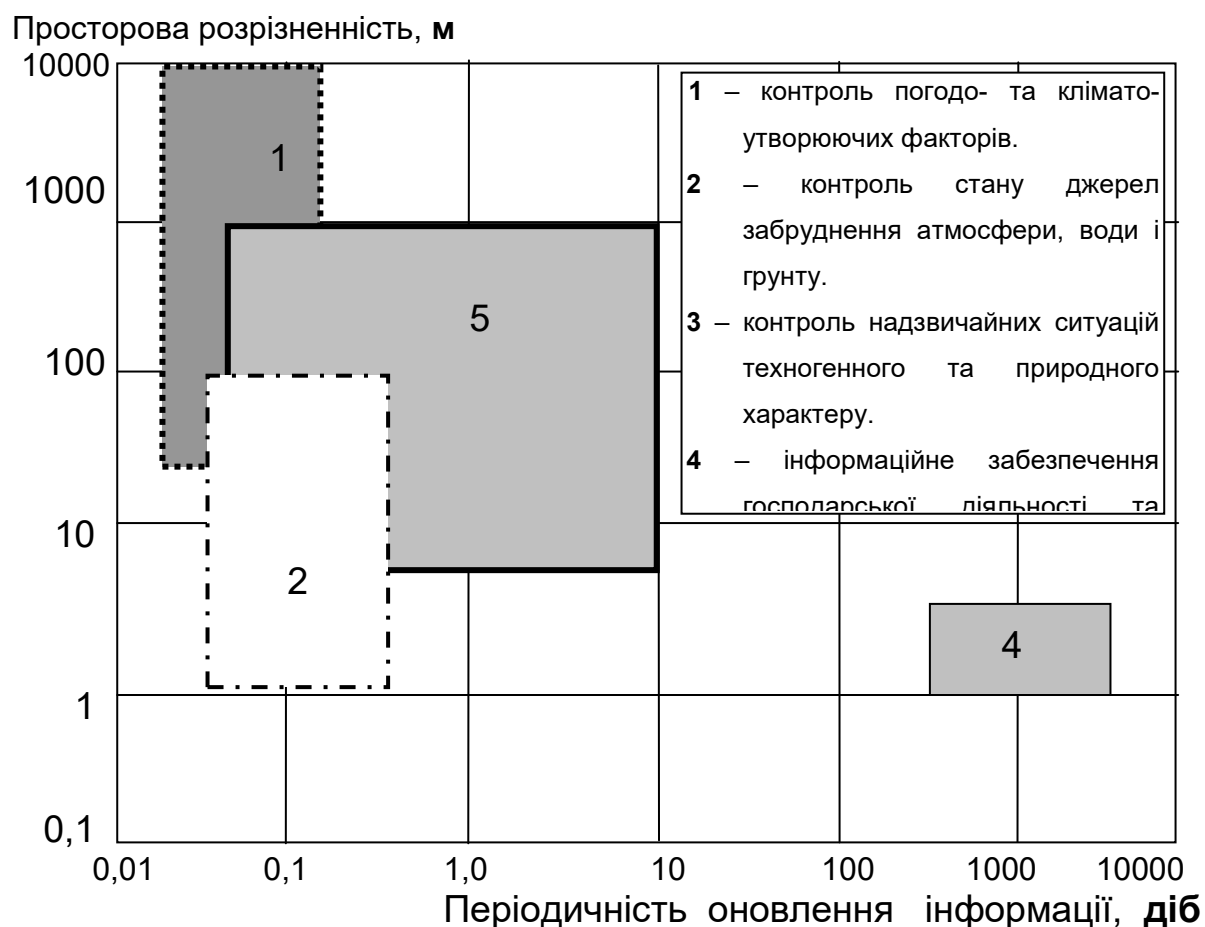


Рис.6.1. Розташування сфер виконання узагальнених завдань

Аналіз стану та тенденцій розвитку космічних інформаційних технологій основні напрямки політики й ідеології систем ДЗЗ високої розрізненності визначити так [36]:

– широке використання науково-технічного заділу, отриманого при розробці військових програм видової розвідки, для створення комерційних систем видової зйомки з високим розрізненням. Очікується, що в найближче п'ятиліття в міру розвитку світового ринку видової продукції такі супутникові системи ДЗЗ не тільки стануть рентабельними, але і будуть важливим доповненням військових систем видової розвідки при рішенні задач оперативного спостереження в кризових районах;

– розширення співробітництва в області створення систем ДЗЗ по замовленнях країн, що не мають власної аерокосмічної промисловості. Розвиток нової форми партнерства, при якій клієнт разом із власною наземною станцією здобуває також права на керування знімальною апаратурою супутника, що належить компанії-оператору, у межах зони радіовидимості станції і на прийом інформації з борта супутника в реальному масштабі зйомки ("віртуальний власник супутника");

– створення систем подвійного призначення, призначених для рішення задач в інтересах національної безпеки і соціально-економічного розвитку (характерно для країн Європи й Азії) і об'єднання зусиль декількох країн-партнерів з метою розробки спільних проєктів (Ізраїль–США, Німеччина–Ізраїль, Китай–Бразилія, країни Європи й ін.).

Основні тенденції по розробці апаратури систем видового спостереження [36-42]:

– створення багатосупутникових систем, які складаються з апаратів ОЕС і РСА, що забезпечує всепогодну цілодобову зйомку об'єктів у глобальному масштабі з високою частотою відновлення інформації;

– застосування мір по зменшенню вартості проєктів шляхом використання малогабаритних космічних платформ, технологій, напрацьованих в оборонних програмах, і дешевих ракет-носіїв (в основному, російських);

- підвищення оперативності доведення інформації до споживачів шляхом передачі даних на мобільні наземні станції;
- досягнення високої просторової розрізненності (до 0,5 м), упровадження технології гіперспектральної зйомки об'єктів з високою спектральною розрізненністю;
- реалізація режимів однопрохідної стереоскопічної зйомки;
- збільшення швидкості й обсягу переданої інформації, впровадження апаратури бортової обробки і попереднього стиску інформації;
- використання бортових керованих антен і високошвидкісних ліній радіо- і оптичного зв'язку;
- поліпшення радіометричних і геометричних властивостей зображень, зниження похибок визначення координат наземних об'єктів.

Подальший прогрес у розвитку ринку видової продукції пов'язаний зі створенням комерційних систем ДЗЗ із півметровою розрізненністю. Наддетальні зображення будуть застосовуватися при розробці великомасштабних карт і планів місцевості, географічних інформаційних систем, плануванні міської забудови, прокладки трубопроводів і кабелів, будівництва доріг і ліній зв'язку. Основні замовлення очікуються від будівельних і проектних компаній, а у випадку стійкого розвитку ринку і зниження вартості наддетальних зображень їх споживачами можуть стати і водії автомобілів, оснащених комп'ютерами з цифровими картами місцевості й апаратурою супутникової навігації. У пресі обговорюється можливий вплив космічних високодетальних зображень на розвиток промислового шпигунства у світі. Комерційна космічна розвідка дозволяє компаніям вирішувати задачі спостереження за діяльністю підприємств-конкурентів (включаючи постачання сировини, відвантаження продукції, розширення виробництва і т.п.). Однак основними споживачами знімків з півметровою розрізненністю стануть оборонні і силові структури, з боку яких очікуються великі замовлення.

## 7. НАЗЕМНА ІНФРАСТРУКТУРА СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ З КОСМОСУ

Ефективність використання систем ДЗЗ суттєво залежить від якості цільового застосування засобів космічного спостереження та системи розповсюдження даних. Так, наприклад, незважаючи на те що США створили першими комерційну систему ДЗЗ Landsat, лідером на світовому ринку ДЗЗ є Франція, яка зуміла організувати ефективну експлуатацію своєї системи SPOT. В даний час Франція відіграє провідну роль у розвитку космічних засобів Європейського союзу і продовжує оперативну експлуатацію космічної системи ДЗЗ SPOT та системи видової розвідки Helios [36].

**Французька система ДЗЗ SPOT** (Systeme Probatoire l'Observation de la Terre) призначена для рішення широкого кола соціально-економічних, комерційних і воєнно-прикладних задач з високою оперативністю й у глобальному масштабі. Розробку супутників типу SPOT фінансує космічне агентство Франції CNES, Бельгія, Швеція і Євро-пейський Союз. Основний розроблювач – компанія Matra Marconi Space (MMS, нині консорціум Astrium) при сприянні аерокосмічних компаній Франції (Aerospatiale, Alcatel, Laben, SAGEM, Sextant) і країн Європи (Alenia Aerospazio, DASA, CASA) [10].

Оператор системи SPOT – агентство CNES, якому організаційно підпорядковані центр керування і пункти прийому інформації в Тулузі та Кируні (Швеція). Функції маркетингу інформації і керування мережею пунктів прийому даних покладені на компанію SPOT Image (Тулуза, Франція). Система SPOT є однією із самих комерційно успішних у світі, компанія SPOT Image контролює близько 60% світового ринку видової космічної продукції. Глобальна система поширення знімків і видової продукції включає чотири регіональних філії: у США (Рестон, шт. Вірджинія), Сінгапурі, Китаї й

Австралії; близько 90 дистриб'юторів і 23 пункти прийому супутникової інформації в 60 країнах.

Усі супутники системи SPOT виводяться на сонячно-синхронні орбіти висотою 830 км і нахилом  $98,7^\circ$  з періодом повторення трас, рівним 26 діб (369 витків), мають однаковий місцевий час перетинання екватора в низхідних вузлах орбіт (10:30).

До складу наземного сегмента системи SPOT входять (рис.7.1) [10]:

- Центр управління в Тулузі (Франція), який забезпечує функціонування КА на орбіті, програмування роботи бортової апаратури, прийом та попередню обробку інформації ДЗЗ.

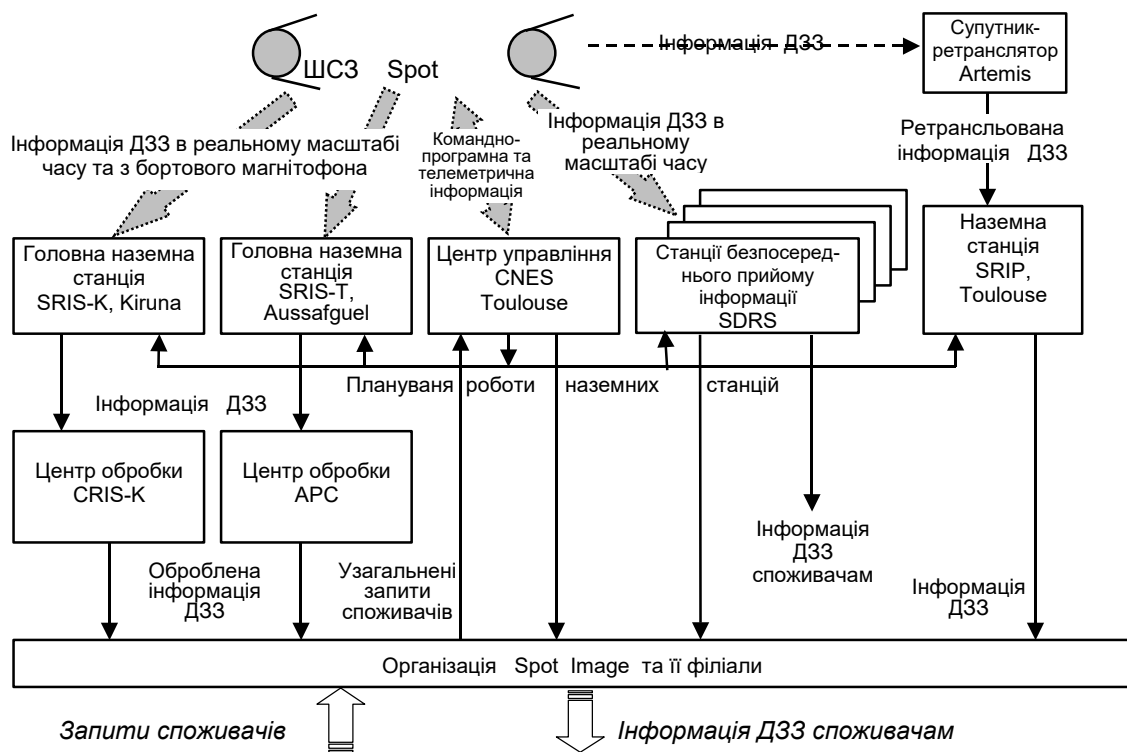


Рис.7.1. Структура системи ДЗЗ SPOT

- Дві головні станції прийому інформації ДЗЗ: станція SRIS-T (Station de Reception des Images Spatiales) в Aussaguel (Франція) и станція SRIS-K в Kiruna (Швеція).

- Наземна станція SRIP (Station de Reception des Pastel) в Тулузі, яка забезпечує прийом інформації ДЗЗ через геостаціонарний КА Artemis з використанням обладнання PASTEL.

– Центр попередньої обробки та архівування даних в Тулузі APC (Archive and Preprocessing Center), який забезпечує виконання заявок споживачів інформації ДЗЗ.

– Центр попередньої обробки даних CRIS-K (Centre de Rectification des Images Spatiales) в Kiruna.

– Станції безпосереднього прийому інформації SDRS (Spot Direct Receiving Stations), які забезпечують тільки прийом інформації в реальному масштабі часу і знаходяться в Принс Алберт та Гатино (Канада), Хайдерабад (Індія), Маспаломас (Канарські о-ви, станція належить ESA), Куяба (Бразилія), Лэд Крабанг (Тайланд), Хатояма (Японія), Ісламабад (Пакистан), Хартебистхоєк (Південна Африка), Ер Ріяд (Саудівська Аравія), Аліс-Спрингс (Австралія), Тель Авів (Ізраїль), Котопакси (Еквадор), Фучино (Італія), Парепаре (Індонезія), Сінгапур та Гун-лі (Тайвань).

– Організація Spot Image та її філіали, що відповідальні за комерційне використання космічної інформації ДЗЗ.

Область прийому кожної з двох головних станцій SRIS-T і SRIS-K охоплює зону радіусом 2,5 тис. км. Разом ці станції контролюють Північну та Південну Європу, Північну Америку та Північну Африку і приймають за один рік майже 500 тисяч зображень. При обох станціях функціонують центри обробки прийнятої інформації (APC и CRIS-K, відповідно), які за добу обробляють до 700 сцен. Оброблені зображення надаються в архів або замовнику.

Контракти з зарубіжними станціями на прийом інформації з КА SPOT заключаються фірмою Spot Image терміном на три роки. Після закінчення трьох років контракт продовжується або припиняється.

Доходи від використання прийомних станцій SDRS іноземними державами складають до 30 % всіх доходів. Фірма Spot Image практикує розповсюдження не тільки “сирої” інформації дистанційного зондування, а також і технологією її обробки. Робота системи SPOT вирізняється високою оперативністю: підготовка знімка завершується через 2-3 дні після прийому даних, а кінцева

продукція надається клієнту ще через 8-11 діб. В період з квітня по червень, коли супутникові знімки використовуються для рішення сільськогосподарських задач, зростає потік замовлень, які не завжди вдається задовольнити. Тоді фірма Spot Image вводить додаткову платню за пріоритетність зйомки. Це дає фірмі збільшення доходу на 10 %.

Проект HELIOS став першою європейською і першою спільною системою видової космічної розвідки, що фінансується військовими відомствами Франції (79% бюджету програми), Італії (14%) та Іспанії (7%). Видова інформація цієї системи використовується (з певними обмеженнями) в інтересах ДЗЗ. Основний замовник системи HELIOS – управління озброєнь МО Франції DGA, а оператор системи – управління військової розвідки DRM. Системний розроблювач – космічне агентство CNES, що має великий досвід створення й експлуатації системи ДЗЗ на базі КА SPOT. Основний внесок у створення супутників внесли компанії Aerospatiale (ОЕС EPV, сонячні панелі), Matra Marconi Space-MMS (платформа, наземне устаткування), SEP (центр обробки), Alenia/Insel (приймальні станції), Alcatel Espace (системи стабілізації, зв'язку), Sodern (детекторні блоки для камери DTA04).

До складу системи видової розвідки HELIOS входять:

- орбітальне угруповання – два КА HELIOS-1 A, -1B;
- наземний комплекс керування польотом – головний центр у Тулузі, – використовуються наземні станції керування космічного агентства Франції CNES;
- наземний спецкомплекс – головний центр управління системи і збору заявок на авіабазі Крей (пригород Парижа);
- французький сегмент: центр управління й обробки даних у Крей, пункт прийому інформації (ППІ) – Колмар (Страсбург); розроблені мобільні ППІ;
- італійський сегмент: центр обробки в Римі, ППІ в Лечче (Італія);
- іспанський сегмент: центр обробки в Торрехон (пригород Мад-ріда), ППІ в Маспаломас (Канарські о-ви).

Система 3S (Suite du Systeme Spot) на базі малих КА четвертого покоління призначена для подальшого розвитку космічної системи ДЗЗ SPOT в інтересах рішення широкого кола соціально-економічних, комерційних і військово-прикладних задач з високою оперативністю й у глобальному масштабі. Основна мета, переслідувана при розробці системи 3S – зниження вартості і термінів створення КА, підвищення продуктивності й оперативності функціонування космічної системи.

Основні замовники системи 3S – французьке космічне агентство CNES і компанія Spot Image. Розроблювач остаточно не визначений, але концептуальні пророблення виконують компанії, що є традиційними розроблювачами супутників серії SPOT (MMS, Alcatel, Sodern, Laben).

Орбітальне угруповання включає 1...3 малих КА масою близько 500 кг, розміщених на сонячно-синхронних кругових орбітах висотою 633 км і нахилом 98°.

Наземний комплекс керування системи 3S – штатний для системи SPOT, включає головний центр керування польотом у Тулузі (Франція), дві контрольні станції (Тулуза і Кируна).

В даний час цивільний сегмент космічних засобів ДЗЗ США формують системи трьох основних типів:

- система ДЗЗ на базі КА Landsat-4,-5,-7, інформацію від яких поширюють як урядові агентства (геологічна служба USGS і управління NOAA), так і приватні компанії;

- система супутників середньої і низької розрізненності, створених по федеральній програмі EOS (Terra, EO-1, перспективні КА EOS PM-1 і EOS CHEM-1) на кошти агентства NASA;

- комерційні системи зйомки Землі з високою розрізненністю, створені на засоби компаній і приватних інвесторів.

Наземний сегмент системи LANDSAT у своєму складі має такі елементи [10]:

1 Центр управління SOCC (Spacecraft Operations Control Center, Greenbelt, шт. Меріленд), який забезпечує планування роботи бортової апаратури та обробку даних ДЗЗ і телеметрії з КА системи LANDSAT.

2 Станції управління космічними апаратами, що знаходяться в Norman (шт. Оклахома, станція належить EOSAT) та Gilmore (станція являється резервною і належить NOAA).

3 Центри прийому заявок від споживачів та обробки поступаючих даних ДЗЗ, які знаходяться в Центрі ім. Годдарда (Greenbelt, шт. Мэріленд) і при штаб квартирі фірми EOSAT (Lanham, шт. Мэріленд).

4 Станції збору даних на території США та закордонні прийомні станції.

5 Центр зберігання і обліку даних ДЗЗ, які отримуються системою LANDSAT, EROS Data Center (Sioux Falls, шт. Південна Дакота).

Всього в системі EOSAT використовується 21 станція прийому інформації від супутників Landsat. Значна частина станцій може також приймати інформацію дистанційного зондування з французьких космічних апаратів серії Spot. Станції, які розташовані в Італії, Швеції та на Канарських островах, забезпечують держави Європейського космічного агентства ESA: Австрію, Бельгію, Великобританію, Данію, Ісландію, Іспанію, Італію, Нідерланди, Норвегію, Францію, Швейцарію, Швецію, а також Угорщину, Ізраїль, Польщу та Фінляндію. В склад обладнання станції прийому інформації з КА Landsat/Spot входить двозеркальна антена. Діаметр основного рефлектора антеної системи складає 10 м, фокусна відстань 3,81 м, вага рефлектора 2210кг.

Компанія Space Imaging EOSAT (SI/EOSAT) є оператором супутників Ikonos-2, Landsat-5 і займається поширенням даних видової зйомки від КА типу IRS (Індія) і Radarsat-1 (Канада). Комерційна система ДЗЗ на базі супутників Ikonos призначена для одержання видової інформації з високою розрізненністю і якістю в інтересах приватних компаній, державних і військових органів, а також закордонних клієнтів. Система включає 1-2 космічних апарата на кругових сонячно-синхронних орбітах висотою 682 км і нахиленням 98,1°.

Головний центр керування розташований у Торото, резервна станція керування – у Фербенкс, шт. Аляска.

Комерційна система ДЗЗ на базі супутників QuickBird призначена для одержання видової інформації з високою розрізненністю і якістю в інтересах приватних компаній, закордонних клієнтів, державних і військових органів. Оператором системи є компанія EarthWatch (штаб-квартира в Лонгмон, штат Колорадо, офіс і основна територія – у Лівермор, шт. Колорадо). До складу системи ДЗЗ компанії EarthWatch повинні ввійти два апарати QuickBird, центр управління в США, дві станції управління в Норвегії і на Алясці, а також пункти прийому інформації в Японії та Італії. Перший супутник QuickBird-1 планувалося вивести на орбіту з нахиленням  $66^\circ$ , чим забезпечувалася можливість спостереження за тим самим об'єктом у різний час доби. Другий апарат QuickBird-2 повинний доповнювати систему, знаходячись на полярній сонячно-синхронній орбіті з постійним місцевим часом перегляду об'єктів. При розрахунковій висоті 601 км період повторення трас складає 21 добу.

Комерційна система ДЗЗ компанії Orbimage на базі супутників OrbView призначена для одержання видової інформації з високою розрізненністю і якістю в інтересах приватних компаній, закордонних клієнтів, державних і військових органів. Оператор системи – компанія Orbimage (штаб-квартира в Даллесі, шт. Вірджинія, офіс – у Джемен-Таун, штат Меріленд). До складу системи повинні ввійти 1-2 супутника, головний центр керування в Даллес (резервна станція керування – у Джемен-Таун). Основні пункти прийому інформації розташовані в Даллес і Джемен-Таун, планується розгорнути ще 10 стаціонарних станцій за межами США (зокрема, у Саудівській Аравії, Манілі, Республіці Корея, Латинській Америці й ін.). Також передбачається використовувати транспортабельні станції FASTRACS System.

Космічні апарати серії EOS створюються відповідно до американської наукової програми Earth Science Enterprise і служать для збору інформації про стан біосфери Землі і тих змін, що у ній відбуваються в результаті природних

процесів і життєдіяльності людей. До апаратів серії EOS належать уже виведений на орбіту КА EOS AM-1 (він же TERRA) і готуються до запуску КА EOS PM-1 (інше найменування КА – AQUA) і EOSCHEM-1.

Основними розроблювачами КА EOS є найбільші американські аерокосмічні компанії Lockheed Martin (КА EOS AM-1) і TRW (КА EOS PM-1 і EOS CHEM-1). У розробці бортової апаратури крім США також беруть участь компанії Японії, Канади, Бразилії і країн Європи

Експериментальний космічний апарат Earth Observing-1 (EO-1) створений за замовленням агентства NASA у рамках програми New Millennium для відпрацювання перспективних технологій і апаратури зйомки земної поверхні та продовження збору інформації, початої космічними апаратами серії Landsat. До складу системи входять КА EO-1 і пункти прийому інформації на станції МакМердо (Антарктида), о. Шпіцберген, Покер-Флет (Аляска), на о. Уоллопс. Для збору зображень використовується система ретрансляції даних TDRSS.

З певними обмеженнями як інформація ДЗЗ використовуються знімки системи видової космічної розвідки Key Hole /Crystal (США):

- орбітальне угруповання КА оптико-електронної розвідки (ОЕР) типу "KeyHole" на еліптичних сонячно-синхронних орбітах (у штатному складі два супутники);

- орбітальне угруповання КА радіолокаційної розвідки (РЛР) типу "Lacrosse" на кругових похилих орбітах (у штатному складі дві одиниці);
- орбітальне угруповання супутників-ретрансляторів типу "СДС" і "ТДРС" підсистеми передачі даних (усього 8...10 супутників);

- наземний комплекс керування, обробки і розподілу інформації, що включає стаціонарні і мобільні приймальні станції, комплекси обробки, канали зв'язку і передачі даних, апаратуру користувачів.

Оціночний склад орбітального угруповання системи видової розвідки FIA (замовник – національне управління космічної розвідки США NRO) – 12...24

КА з РСА й ОЕС. Сучасний штатний склад: два КА з ОЕС типу "KeyHole", два КА з РСА типу "Lacrosse", з урахуванням резерву, усього на орбіті сім КА видової космічної розвідки.

Експериментальний космічний апарат США МТІ (Multispectral Thermal Imager – багатоспектральний тепловий датчик зображень) призначений для відпрацювання апаратури і методів виявлення об'єктів, пов'язаних з виробництвом, збереженням і дослідженням ядерної зброї. До складу системи входять КА МТІ, центр управління і пункт прийому інформації в Сандійській лабораторії в Альбукерці (шт. Нью-Мексико). Центр обробки й аналізу даних розташований у Лос-Аламосській лабораторії.

Експериментальний космічний апарат Sindri (інше позначення MightySat II. 1 – могутній супутник) призначений для відпрацювання апаратури гіперспектральної зйомки і методів виявлення замаскованих об'єктів, а також для іспитів іншої перспективної апаратури військових супутників. До складу системи входять КА Sindri, центр управління і прийому інформації лабораторії ВПС ім. Філіпса на авіабазі Кіртланд (шт. Нью-Мексико). Для забезпечення прийому телеметрії і передачі команд залучаються наземні засоби командно-вимірювального комплексу ВПС AFSCN.

Роботи по створенню Європейської космічної системи дистанційного зондування Землі ERS (European Remote Sensing satellite) почались Європейським космічним агентством ESA в 1981 році. Глобальна все-погодна зйомка Землі проводилась в інтересах прогнозу погоди, контролю стану прибережних зон, океанографії, сільського і лісового господарства, геологічних досліджень та ін.

До складу наземного сегменту системи ERS входять такі елементи [10]:

1. Центральний комплекс засобів системи EECF (Esrin Ers Central Facility) Інституту космічних досліджень ESRIN (European Space Research Institute), який розташований в Frascati (Італія) і забезпечує організацію роботи системи

ERS, включаючи прийом та узагальнення запитів споживачів, планування роботи КА, обробку і розподіл даних, а також контроль за якістю продукції.

2. Центр управління ММСС (Mission Management and Control Centre) при Європейському центрі забезпечення космічних операцій ESOC (European Space Operations Centre, Darmstadt, Німечина), який здійснює безпосередню передачу командно-програмної інформації та прийом телеметрії з космічних апаратів Ers.

3. Основні прийомні станції системи ERS, належать ESA і розташовані в Fusino (Італія), Gatineau (Канада), Maspalomas (Іспанія) и Kiruna (Швеція). При прийомі інформації з полярноорбітальних КА Ers найкращу зону радіовидимості має станція в Kiruna, тому вона використовується також для закладки команд на борт КА та прийому телеметрії, а також для прийому спеціальної інформації в реальному масштабі часу та в режимі відтворення інформації ДЗЗ бортового магнітофона. Станція в Fusino використовується для прийому в режимі безпосередньої передачі інформації, що отримана в зоні Середиземного моря. Станції в Gatineau і Maspalomas здійснюють прийом попередньо зареєстрованої низько швидкісної інформації.

4. Центри обробки та архівування даних PAF (Processing and Archiving Facility), розташовані в Brest (Франція), Farnborough (Великобританія, EODC – Earth Observation Data Center, створений в 1989 р.), Oberpfaffenhofen (Німечина, Національне агентство аерокосмічних досліджень DFVLR) та Matera (Італія), в яких здійснюється тривале зберігання первинних матеріалів, виготовлення та розповсюдження продукції, оцінка якості роботи та калібровки бортової апаратури КА, забезпечення каталогізації та найбільш повного використання інформації, що отримується. Центри PAF взаємодіють з комплексом EECF з метою оновлення даних ДЗЗ та виконання запитів споживачів.

5. Заплановано створити близько 25 національних станцій прийому даних з КА на базі побудованих та функціонуючих в системах LANDSAT та SPOT пунктів. До 1996 р. прийомні станції системи ERS були розгорнуті в Tromso (Норвегія), Prince Albert (Канада), Aussaguel (Франція), West Freugh

(Великобританія), O'Higgins (Німечина, Антарктида), Fairbanks (США), Libreville (DFVLR, Німечина), Cito (Еквадор), Hyderabad (Індія), Alice Springs (Австралія), Hobart (Австралія), Kumamoto (Японія), Hatoyama (Японія), Syowa (Японія, Антарктида), Cuiaba (Бразилія), Bangkok (Тайланд), Riyadh (Саудівська Аравія), Raгараге (Індонезія), Pekin (Китай), Гун-лі (Тайвань), Тель-Авів, Йоханнесбург (ПАР), Сінгапур.

Оператором спільної ізраїльсько-американська космічної системи зйомки земної поверхні з високою розрізненністю EROS (Earth Resources Orbital Satellite) є компанія ImageSat International (ISI), штаб-квартира розташована на Кайманових островах, офіси – в Ізраїлі і США. Компанія створена ізраїльської держкорпорацією IAI і американською компанією CST (Core Software Technologies), до 2000 р. носила найменування West Indian Space (WIS).

Космічний сегмент – при повному розгортанні до 2005 року в системі EROS передбачається використовувати два КА першого покоління EROS-A і шість КА другого покоління EROS-B. Супутники виводяться на кругові сонячно-синхронні орбіти з нахилом  $97,4^\circ$  і висотою 480 км (перше покоління КА) і 600 км (друге покоління).

Наземний сегмент – головний центр керування розташований у м. Тель-Авів. Усього передбачено використовувати 21 стаціонарну станцію фірм Space Imaging Eosat і Spot Image у різних країнах (їх модернізація проведена за контрактом компанії CST американськими компаніями). Нижче приведені основні параметри КА серії EROS.

Особливість КА EROS – застосування керованої бортової параболічної антени, що відслідковує напрямок на наземну станцію в ході сеансу передачі даних.

Компанії CST і Autometric створюють у Вашингтоні наземний комплекс прийому й обробки зображень і розподілу серед клієнтів продуктів на їх основі. Компанія CST займається поширенням космічних і аерофотознімків земної

поверхні через Інтернет по мережі ImageNet (архів компанії й Інтернет-сервер знаходяться в Нікосії, Республіка Кіпр).

Космічні програми Індії не мають результатів подібних до досягнень провідних космічних держав світу, але динаміка їх розвитку заслуговує уваги. Структура наземного сегмента індійської системи IRS показана на рис.7.2.

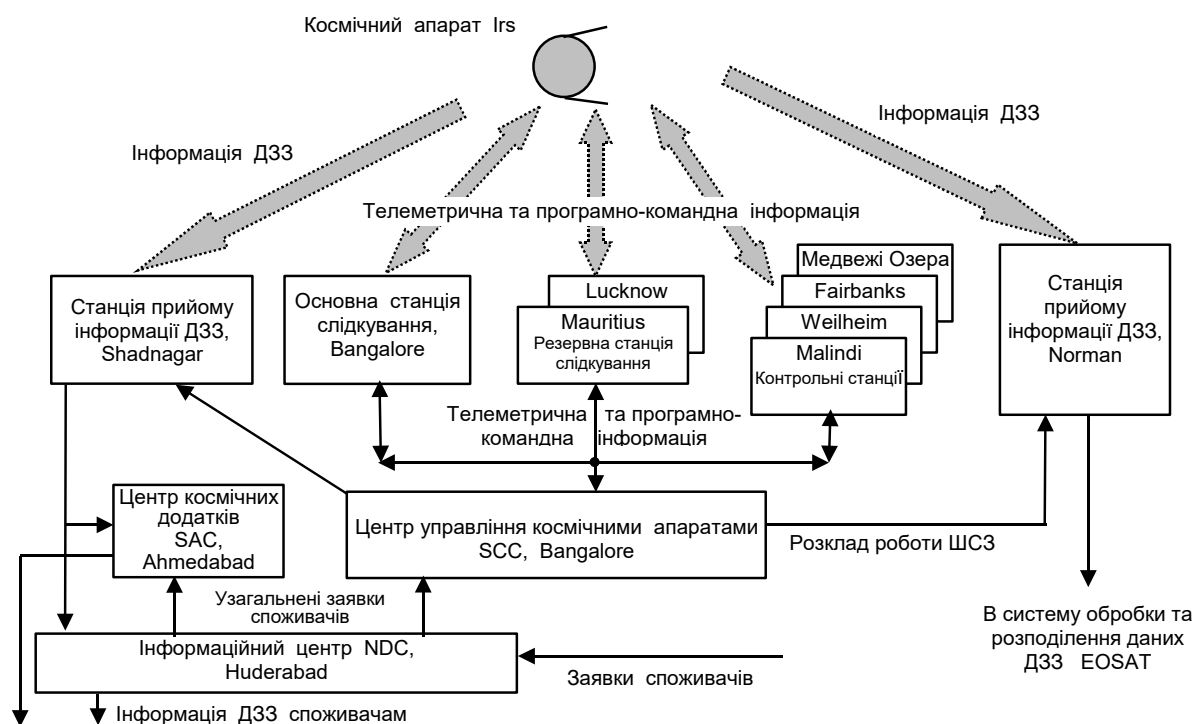


Рис.7.2. Наземний сегмент системи IRS

Функції траєкторних вимірювань, прийому телеметрії та управління оперативними космічними апаратами системи IRS виконують наземні станції індійського космічного агентства ISRO (Indian Space Research Organization), які розташовані в Bangalore (основна), Lucknow та Mauriіiin (резервні).

Там інформація обробляється, переноситься на архівні носії і заноситься в Державний фонд даних ДЗЗ із космосу. Звідти потім інформація надається для використання споживачам різних відомств. Крім того у Долгопрудному побудовані системи безпосереднього прийому даних від супутників “Ресурс-01”, “Метеор-3М” та також від американських низькоорбітальних метеосупутників NOAA, а також модернізовані прийомні засоби НСК для робіт

з КА SPOT і EROS. Крім того Російське космічне агентство доручило Інженерно-технологічному центру “СканЭкс” розробку та виготовлення малих станцій прийому і обробки супутникових зображень, а також координацію мережі таких станцій.



Сумісний знімок КА SPOT та EROS

Інфраструктуру наземних комплексів космічного ДЗЗ мають Китай, Японія, Італія, Німечина, Південна Корея та деякі інші держави світу. Однак їх частка у світовому ринку продукції ДЗЗ значно менша.

Аналіз науково-технічної літератури з проблематики космічного ДЗЗ дає підстави визначити тенденції розвитку наземних інформаційних (спеціальних) комплексів та їх складових частин так:

– створення розподіленої мережі прийому, обробки та розповсюдження інформації ДЗЗ до запуску відповідних космічних апаратів;

- перехід на використання універсальних наземних станцій прийому замість спеціалізованих;
- створення національних регіональних центрів використання даних про Землю, що надходить з встановлених на супутниках приладів спостереження;
- зменшення габаритів антенних систем, створення малогабаритних універсальних станцій прийому й обробки супутникових зображень;



Знімок КА EROS. Авіабаза Сан-Дієго-Гарсія, 2003 р.

- розробка пересувних універсальних станцій прийому інформації космічних зображень;
- створення банків даних ДЗЗ з системою доступу до масивів високоякісних глобальних карт та зображень у тому числі через мережу Internet.

## 8. СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ ЩОДО РОЗРОБКИ ТА ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ КОСМІЧНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Узагальнені дані про основні державні і комерційні оператори діючих та перспективних космічних систем ДЗЗ наведені в табл.8.1 [43].

Таблиця 8.1

### Основні державні і комерційні оператори діючих і перспективних космічних систем ДЗЗ

Система / компанія-оператор	Діючі КА (рік запуску)	Перспективні КА (рік запуску)	Розрізненність, м
1	2	3	4
<b>США</b>			
Space Imaging	Ikonos 2 (1999)		1...4
		Ikonos Block 2 (2005)	0.5...2
QuickBird/DigitalGlobe	Quick Bird 2 (2001)		0.6...2.4
		Quick Bird 3 (2005)	0.5...2
ORBIMAGE/Orbital Imaging Corp	OrbView 2 (1997)		1000
	OrbView 3 (2003)		1...4
EOS/NASA	Terra (1999)		15...500
	Aqua (2002)		250...500
	Aura (2004)		250...500
Resource/Boeing		Resource 21 (2005)	10...20
Landsat/USGS	Landsat 5 (1984), Landsat 7 (1999)		15...60
	EO-1 (2000)		10...30
<b>ІЗРАЇЛЬ</b>			
EROS	Eros-A1 (2000)		1.8
		EROS-B1 (2005)	0.8...4
<b>РОСІЯ</b>			
Метеор/Росавіакосмос	Метеор-3М-1 (2001)		50
Ресурс-ДК / Росавіакосмос		Ресурс-ДК (2005)	1...5
Монітор/Росавіакосмос		Монитор-Э (2004),	8...50
<b>ЄВРОПА</b>			

Система / компанія-оператор	Діючі КА (рік запуску)	Перспективні КА (рік запуску)	Розрізненність, м
1	2	3	4
SPOT/SPOT Image (Франція)	Spot 2 (1990), Spot 4 (1998), Spot 5 (2002)		(2.5–10)...1000
Pleiades/SPOT Image (Франція)		Pleiades 1 (2005), Pleiades 2 (2006)	1
ERS/ESA, Sarcom, Emma	ERS-2 (1995)		30 (РСА С-діапазону)
Envisat/ESA, Sarcom, Emma	Envisat 1 (2002)		10 (РСА С-діапазону)
Diamant/OHB-System (ФРН), El-Op (Ізраїль)		3 КА Diamant (2004)	5
RapidEye/Kayser-Trede (ФРН)		4...5КА RapidEye (2004-2005)	5...8
Cosmo/ASI, Alenia Spazio (Італія)		4КА Cosmo (2005)	1...2
InfoTerra/Infoterra		TerraSAR-X1 (2005)	1...100 (РСА Х-діапазону)
(ФРН-Велика Британія)		TerraSAR-L1 (2006)	10...100 (РСА L-діапазону)
<b>КАНАДА</b>			
Radarsat/RSI	Radarsat 1 (1995)		10 (РСА С-діапазону)
		Radarsat 2 (2004)	3 (РСА С-діапазону)
<b>ЯПОНІЯ</b>			
ALOS/NASDA		ALOS (2004)	2.5...10
<b>КИТАЙ-БРАЗИЛІЯ</b>			
CBERS/CAST (Китай),	CBERS-1 (1999)		20...260
INPE (Бразилія)	CBERS-2 (2003)		20...260
<b>ІНДІЯ</b>			
IRS/NRSA, Antrix (Індія)	IRS-1C (1995),		5.8...70
	IRS-1D (1997)		
	IRS-P3 (1996)		5.8...70
	IRS-P6 (2003)		2.5
	OCEANSAT (1999)	IRS-2A (2006)	1
	IRS-1A (1988)		5.8...70
	IRS-1B (1991)		
	IRS-P2 (1994)		

Детальніше основні оператори діючих і перспективних космічних систем ДЗЗ розглянемо для деяких окремих держав, які мають найбільш розвинену космічну інфраструктуру.

## **Сполучені Штати Америки**

Ключова роль у забезпеченні національної безпеки США в області ДЗЗ належить Національному управлінню картографічної і видової інформації NIMA (National Imagery and Mapping Agency), що входить до складу Розвідувального співтовариства США. NIMA відповідає за збір і розподіл видової інформації від космічних систем ДЗЗ серед держзамовників і іноземних споживачів (після узгодження з Державним департаментом США). Споживачами інформації є організації зі складу розвідувального співтовариства США, збройні сили, інші державні відомства США і спецслужби країн-союзників. Значна частина картографічної продукції доступна широкому колу користувачів.

Цивільні потреби в області ДЗЗ визначають міністерства торгівлі, внутрішніх справ і NASA. Вони ж виділяють відповідні кошти для реалізації проектів у цій області. NIMA є головною організацією у підготовці планів заходів щодо реалізації космічної політики, у розробці яких, крім NIMA, беруть участь міністри оборони, торгівлі, державний департамент і директор Розвідувального співтовариства США (по сумісництву і директор ЦРУ).

15 травня 2003 р. Білий дім поширив прес-реліз про прийняття в США нової політики в області комерційних систем дистанційного зондування Землі (U.S. Commercial Remote Sensing Space Policy). Нова політика в області комерційних систем ДЗЗ, прийнята 25 квітня 2003 р., стала законодавчою основою для розвитку партнерства військових і комерційних структур США. Відповідно до неї, державні споживачі повинні з максимальною ефективністю використовувати комерційні системи ДЗЗ. Цей документ замінив президентську

директиву PDD-23 від 9 березня 1994 р., де викладалися основи політики США в області систем ДЗЗ. Зараз у цьому секторі міжнародного ринку лідирують американські компанії: Space Imaging (дочірня фірма Lockheed Martin, оператор КА Ikonos 2), DigitalGlobe (оператор КА QuickBird 2), американо-ізраїльська Imagesat Int (оператор КА EROS-A1), Orbital Imaging Corp (оператор КА OrbView 3) [44-48].

Нова політика спрямована на подальше зміцнення положення Американських компаній-операторів ДЗЗ і охоплює наступні області:

- ліцензування діяльності і функціонування космічних систем ДЗЗ;
- використання ресурсів космічних систем ДЗЗ в інтересах оборонних, розвідувальних та інших державних відомств США;
- організацію доступу іноземних замовників (державних і комерційних) до ресурсів ДЗЗ, експорт технологій і матеріалів ДЗЗ;
- міжурядове співробітництво в області військової і комерційної космічної видової зйомки.

Основна мета політики – підвищення безпеки і захист національних інтересів США шляхом зміцнення лідируючих позицій в області космічних систем ДЗЗ і розвитку національної промисловості. Задачі, що переслідуються – стимулювання росту економіки, захист навколишнього середовища і зміцнення наукової та технологічної переваги.

Основні ідеї нової космічної політики:

- американські космічні системи ДЗЗ будуть використовуватися для вирішення оборонних, розвідувальних задач, забезпечення внутрішньої і міжнародної безпеки та в інтересах цивільних користувачів;
- урядові системи ДЗЗ (Landsat, Terra, Aqua) будуть орієнтовані на вирішення задач, що не можуть бути вирішені іншими операторами в силу економічних факторів, інтересів забезпечення національної безпеки або з інших причин;

– розвиток довгострокового співробітництва між урядовими органами та аерокосмічною промисловістю США, забезпечення ліцензійної діяльності в області функціонування операторів систем ДЗЗ і експорту технологій та матеріалів ДЗЗ;

– створення умов, що забезпечують промисловості США переваги в області надання послуг ДЗЗ іноземним урядовим і комерційним споживачам.

З січня 2003 р. матеріали космічної зйомки високої розрізненної здатності закуповуються NIMA в рамках програми ClearView («Ясний погляд») у компаній Space Imaging (3-річний контракт на суму 120 млн \$) і Digital Globe (аналогічний контракт на суму 72 млн \$). Кожний з контрактів може бути продовжений на термін до 5 років (максимальна вартість – 500 млн. \$). Закупівля матеріалів космічної зйомки за програмою ClearView здійснюється за єдиною ліцензією. Потенційними замовниками інформації, отриманої NIMA від комерційних операторів, є: міністерство оборони, розвідувальні органи, дипломатичні служби, федеральні, державні та правоохоронні відомства.

На початку листопада 2003 р. NIMA оголосило про підписання з компанією Digital Globe довгострокового контракту на суму 530 млн. \$, що отримав найменування NextView («Подальший погляд»). Це рішення стало підсумком двоетапного конкурсу по створенню нового комерційного КА, який NIMA провело в березні-жовтні 2003 р. У конкурсі взяли участь дві групи компаній: 1. Space Imaging разом з Lockheed Martin, Raytheon, OrbImage; 2. Digital Globe разом з Ball Aerospace, Boeing Launch Services, BAE Systems.

За умовами контракту, розрахованого на 5 років (до 2008 р. включно), компанія Digital Globe повинна до 2006 р. вивести на орбіту комерційний КА ДЗЗ, що буде надавати зображення з характеристиками, які задовольняють вимогам NIMA. Компанія Digital Globe асигнує бюджетні кошти для створення КА ДЗЗ нового покоління, що прийде на заміну КА QuickBird 2. NIMA отримує гарантію придбання зображень за фіксованими цінами, нижче комерційних.

Контракт NextView гарантує одержання видової інформації і після 2006 р. Управління NRO, що відповідає за розробку й експлуатацію КА видової розвідки, і компанія-розробник Boeing мають певні труднощі в створенні КА нового покоління FIA. У результаті перші КА серії FIA зможуть замінити КА типу KH-11, Lacrosse тільки після 2006 р. (за деякими оцінками, не раніше 2008 р.).

Таким чином, за програмою NextView буде створений перший американський КА подвійного призначення для вирішення розвідувальних, соціально-економічних і комерційних задач. На кошти, що були інвестовані в програму NextView, NIMA отримає право пріоритетного доступу до матеріалів зйомки і зарезервованої частини ресурсу знімальної апаратури та забезпечить сумісність форматів, протоколів та стандартів з існуючою і перспективною апаратурою обробки, а також розповсюдження даних.

Для програм NextView і ClearView можна виділити ряд відмінних рис:

– контракт ClearView розрахований на закупівлю матеріалів зйомки від діючих КА ДЗЗ до 2005 р., з можливим продовженням до 2007 р.; контракт NextView передбачає розробку перспективних КА за ТТЗ NIMA у 2004–2005 рр. і закупівлю інформації після запуску NextView у період 2006-2008 рр.;

– максимальна розрізненність буде підвищена з 0,6 м (КА QuickBird 2) і 0,8 м (КА Ikonos 2) до 0,25 м у програмі NextView, будуть збільшені площа і оперативність повторної зйомки заданого району;

– в рамках програми NextView планується розробити наземні комплекси планування зйомок і обробки інформації, які будуть сумісні з перспективними КА видової розвідки серії FIA, що забезпечить високу оперативність виконання заявок, спільну обробку даних, отриманих з різних джерел і дозволить інтегрувати комерційні системи в існуючий контур оперативного збору видової інформації.

Протягом останніх 6-8 років комерційні КА ДЗЗ стали важливим джерелом високоякісної видової інформації з наступних причин:

– ресурс військових систем видової розвідки обмежений з причин розширення кола задач і числа споживачів, у результаті чого знизилася оперативність рішення задач оглядової зйомки;

– комерційна видова продукція середньої і низької розрізненної здатності стала доступніша в силу введення принципів прямої передачі даних (direct broadcast) і росту пропозицій послуг на міжнародному ринку;

– ринок знімків високої розрізненності (до 1 м і вище) значно виріс з 2000 року; збільшилося число операторів комерційних систем видової зйомки, що привело до посилення конкуренції і зниженню вартості послуг;

– комерційна видова продукція не має грифа таємності, тому може використовуватись оперативно-тактичними ланками управління збройних сил та іншими відомствами, командуваннями союзних сил і засобами масової інформації.

У зв'язку з тим, що ресурси військових космічних апаратів КН-11, Lacrosse будуть через кілька років вичерпані, постане потреба у КА, що зможуть прийняти на себе навантаження щодо спостереження за низько-пріоритетними цілями і відновленню картографічної продукції. Наступним кроком розвитку ринку космічних засобів ДЗЗ є запуск КА з розрізненною здатністю до 0,25 м.

У листопаді 2002 р. компанія Space Imaging звернулася до Національного управління NOAA за ліцензією на запуск КА з розрізненністю 0,25 м (у компанії вже є ліцензії на системи з розрізненністю 0,5 м і 0,4 м). Компанія Digital Globe також намагається одержати ліцензію на запуск КА з розрізненною здатністю 0,25 м. Поява таких КА ДЗЗ суттєво вплине на перерозподіл доходів між ринками матеріалів аерозйомки і космічних даних на користь останніх. Відповідно до оцінок, світовий ринок даних аерозйомки складає близько 3 млрд. дол., а ринок космічних матеріалів – менше 500 млн. дол. Підвищення розрізненної здатності до 0,25 м забезпечить значний попит комерційної видової інформації у військових споживачів.

10 жовтня 2003 р. Національне управління NOAA видало компанії Space Imaging ліцензію на запуск КА з високою просторовою розрізненністю (до 0,25 м). Запланований запуск КА WorldView у 2005–2006 рр. створить переваги США на світовому ринку даних ДЗЗ.

### **Російська Федерація**

У російському Державному космічному науково-виробничому центрі (ДКНВЦ) ім. М.В. Хрунічева розроблена програма дистанційного зондування Землі «Монітор». Вона передбачає поетапне створення космічної системи спостереження Землі високої розрізненності. Космічний сегмент системи повинні скласти МКА, створені на базі уніфікованої платформи «Яхта». Наземний сегмент системи буде містити в собі комплекс управління, комплекс прийому і попередньої обробки інформації і координаційно-аналітичний центр. Споживачам будуть надані можливості як придбання архівних даних, так і замовлення на проведення зйомки конкретної території. Заявлений мінімальний термін виконання заявки чотири-п'ять днів.

В ідеалі космічний сегмент системи «Монітор» може складатися з наступних КА [49]:

- «Монитор-Э» (експериментальний, з оптико-електронною апаратурою (ОЕА) видимого і ближнього ІЧ-діапазонів), маса 650 кг;
- «Монитор-И» № 1 і 2 (з оптико-електронною апаратурою видимого і теплового діапазонів), маса 700 кг;
- «Монитор-С» (з ОЕА для стереозйомки), маса 700 кг;
- «Монитор-О» (з ОЕА високої розрізненності), маса 700 кг;
- «Монитор-РЗ» і -Р23 (з радіолокаційною апаратурою), маса 800 кг.

Термін активного існування кожного КА не менш п'яти років. Точність орієнтації 0,1°, точність стабілізації 0,001град/с. Орбіта сонячно-синхронна висотою 550 км і нахиленням 97,5°.

Запуск «Монитор-Э» намічений на 2004 р. (або на початок 2005 р.) з космодрому Свободний. З моменту початку реалізації цього проекту буде зайнята вільна у вітчизняному ДЗЗ ніша третього діапазону просторових розрізненностей 4–12 м.

ДКНВЦ ім. М.В. Хрунічева планує поширювати інформацію ДЗЗ із КА «Монитор-Э» різних рівнів обробки:

- зображення, що пройшли радіометричну корекцію (рівень 1А) і геометричну корекцію по орбітальним даним (рівень 1В);
- зображення, трансформовані в картографічну проекцію без використання (рівень 2А) і з використанням (рівень 2В) опорних точок;
- ортозображення, трансформовані в картографічну проекцію з використанням опорних точок і ЦМР;
- суміщені зображення на основі одночасних знімків – панхроматичного (розрізненість 8 м) і багатозонального (20 м);
- ортофотоплани та ортофотокарти;
- мозаїки;
- цифрові тематичні карти.

Нижче у табл.8.2 приведені основні характеристики оптико-електронної апаратури КА сімейства «Монитор». Характеристики радіолокаційної апаратури надані у наступній табл.8.3 [49].

Тактико-технічні характеристики КА «Ресурс-ДК1» дозволять йому зайняти нішу в досить привабливому для ГІС-застосувань 2-му діапазоні просторових розрізненностей. В табл.8.4 надані уточнені характеристики КА «Ресурс-ДК1» [50].

Передбачено створення розгалуженої наземної інфраструктури, що включає засоби прийому інформації з КА, розробки різних видів тематичної продукції, ефективної взаємодії зі споживачами в процесі збору і реалізації заявок на проведення зйомки. Комплекс тематичної обробки і взаємодії зі споживачами буде забезпечувати:

- взаємодію зі споживачами при зборі заявок на одержання інформації ДЗЗ і (або) розробку тематичної продукції;
- організацію зйомки заданої в заявках території (з формуванням програм роботи бортової апаратури ДЗЗ);
- організацію доставки готової продукції споживачеві.

Таблиця 8.2.

### Характеристики оптичної апаратури КА типу «Монитор»

Параметр	«Монитор-Э»		«Монитор-И» № 1		«Монитор-И» № 2		«Монитор-С»		«Монитор-О»	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Спектральні діапазони, мкм	0,51-0,85 (II)	0,54-0,59; 0,63-0,68; 0,79-0,9	0,51-0,85; 0,45-0,52; 0,54-0,59; 0,63-0,68; 0,79-0,9	0,54-0,59; 0,63-0,68; 0,79-0,9	3,55-3,95; 10,4-11,5; 11,5-12,6	0,54-0,59; 0,63-0,68; 0,79-0,9	0,51-0,85 (C)	0,54-0,59; 0,63-0,68; 0,79-0,9	0,51-0,85 (II); 0,45-0,52; 0,54-0,59; 0,63-0,68; 0,79-0,9	0,54-0,59; 0,63-0,68; 0,79-0,9
Простор. розрізненість, м			8	20/40	3 (II); 6 (БЗ)	20/40			60	
Смуга захоплення, км	90	160	36	160	160	160	65-70	160	20	160
Смуга огляду, км	730	890	700	890	890	890	65-70	890	690	890
Швидкість передачі інформації, Мбіт/с	15,36/61,44/122,88									
Максимальна потужність, Вт	450		450		450		450		450	
<b>Примітка.</b> II — панхроматичний; БЗ — багатозональний; С — стереомодуль.										

Таблиця 8.3

### Характеристики радіолокаційної апаратури КА типу «Монитор»

Параметр	«Монитор-Р3»			«Монитор-Р23»		
Діапазон (довжина хвилі, см)	X (3,1)			L (23,5)		
Поляризація	ВВ, ГГ			ВВ, ВГ, ГГ, ГВ		
Просторова розрізненність, м	3–5	20/40	100	5	20/40	100
Смуга захоплення, км	10–20	60–80/120–160	450	30–40	60–80/120–160	450
Швидкість передачі інформації, Мбіт/с	15,36/61,44/122,88					
Максимальна потужність, Вт	1500			1500		
<b>Примітка.</b> Типи поляризації: ВВ — вертикально-вертикальна, ГГ — горизонтально-горизонтальна, ВГ — вертикально-горизонтальна, ГВ — горизонтально-вертикальна.						

Таблиця 8.4

### Основні тактико-технічні характеристики КА «Ресурс-ДК1»

<b>Розрізненність на місцевості (з висоти 350 км), м, у діапазонах:</b>	
- панхроматичному	Не гірше 1
- вузьких спектральних	2,0–3,0
Смуга захоплення, км	28,3
Смуга огляду, км	448
Спектральні діапазони, мкм, при зйомці:	
- пан хроматичній	0,58–0,8
- багатозональній	0,5–0,6; 0,6–0,7;
Число спектральних діапазонів, що знімаються одночасно	1–3
Швидкість передачі даних по радіолінії, Мбіт/с	75; 150; 300
Оперативність передачі інформації на наземні пункти прийому:	
- при зйомці в межах радіовидимості	реальний масштаб часу (РМЧ)
- при глобальному спостереженні з використанням ЗП	від РМЧ до 8 г
Максимальна ємність ЗП	768 Гбіт
Режими зйомки:	
- об'єктовий, км	квадрат зі сторонами від 4,7 до 28,3
- маршрутний, км	довжиною до 2100
Максимальна продуктивність на добу:	
- об'єктова, сюжетів	до 180
- маршрутна (середньою довжиною 400 км), маршрутів	до 40

<b>Розрізненність на місцевості (з висоти 350 км), м, у діапазонах:</b>	
Сумарна продуктивність на добу, млн км <sup>2</sup>	до 0,7
Параметри робочих орбіт:	
- кругові	
середня висота, км	450–610
- еліптичні	
мінімальна висота, км	350–400
максимальна висота, км	450–610
Нахилення	64,8°; 70,0° (70,4°)
Термін активного існування, років	≥3
Ракета-носій	«Союз»
Космодром	Байконур

Передбачається цілодобовий режим прийому заявок від споживачів по різноманітних засобах зв'язку (Інтернет, телефон, телеграф), а також розміщення в мережі Інтернет загальнодоступного демонстраційного каталогу зображень, отриманих з КА (з оглядовими кадрами швидкого перегляду).

У перспективі планується включити до складу наземної інфраструктури космічної системи «Ресурс-ДК1» абонентські пункти споживачів, що дозволить їм [50]:

- приймати інформацію безпосередньо з КА;
- розробляти програми зйомки (у територіальній зоні, обмеженої умовами видимості абонентського пункту з КА);
- закладати програми зйомки на борт КА з наступним їх виконанням (тобто приймати інформацію ДЗЗ у квазіреальному масштабі часу).

Проводяться роботи по дообладнанню КА «Ресурс-ДК1» № 2 радіолокаційним комплексом високої розрізненності (ВРЛК). У результаті цей КА зможе проводити одночасну зйомку у видимому і НВЧ-діапазонах спектру. ВРЛК – когерентний радіолокатор бокового огляду із синтезованою апертурою. Довжина хвилі 3,1 см. Робочі висоти орбіт 350–630 км. У табл.8.5 приведені основні характеристики ВРЛК [51].

## Характеристики ВРЛК

Зйомка	Режими спостереження	Просторова розрізненність м	Робочий діапазон кутів візування	Смуга захоплення, км	Смуга огляду, км
Високо-детальна	Стандартний смуговий	1	35–57°	8–10	330
	Стандартний кадровий	1	35–57°	10–10	330
	Гранична лінійна розрізненність	(0,6–0,7)х0,5	42–57°	5х5	250
Детальна об'єктів	Стандартний	3–6	35–57°	8–40	330
	Збільшеної смуги огляду	3–6	9–62°	5–40	680
	Підвищеної радіометричної розрізненності	3–6	9–57°	5–40	525
Детальна місцевості	Стандартний	9–12	35–57°	45–90	—
	Збільшеної смуги огляду	9–12	9–62°	10–90	—
	Підвищеної радіометричної розрізненності	9–12	9–57°	10–90	—
Оглядова	Стандартний	25–250	35–57°	90–250	—
	Збільшеної смуги огляду	25–250	9–62°	90–250	—
	Підвищеної радіометричної розрізненності	25–250	9–57°	90–250	—

НВО ім. С.А. Лавочкина, який має такі характеристики КА оптико-електронного спостереження:

висота орбіти, км	1500–2800
нахилення орбіти	63°
просторова розрізненність, м	2–5
смуга огляду/захоплення, км	близько 30
спектральний діапазон, мкм	0,4–1,1

В Росії ведуться розробки гіперспектральної апаратури. Експериментальні зразки гіперспектральної знімальної апаратури створені підприємством АФАР (відеоспектрометр «Юнікон-В») і НТЦ «Реагент» [52].

Як можливі варіанти космічної платформи для відеоспектрометра «Юнікон-В» розглядаються службовий модуль російського сегменту МКС, МКА типу «Монітор» і «Кондор-Э» (табл.8.6). Гіперспектральна відеокамера НТЦ «Реагент» розглядається як корисне навантаження розроблювального НДІ ЕМ (за замовленням Газпрому) МКА «Астрогон». «Юнікон-В» і гіперспектральна відеокамера НТЦ «Реагент», які працюють на основі акустооптичного ефекту, а основні характеристики приведені в табл.8.7.

Таблиця 8.6

**Характеристики КА на базі космічної платформи «Кондор-Э»**

Висота орбіти, км	450–900	
Нахилення орбіти	до 98°	
Маса КА, кг	до 1150	
Маса корисного вантажу, кг	до 350	
Час існування, років	3–10	
	КА з ОЕА	КА з РСА
Просторова розрізненність, м	близько 1 (залежить від режиму зйомки)	5-20 – оглядовий режим; 1-3 – детальний режим
Смуга огляду/захоплення, км	до 1200 (600 км праворуч і ліворуч від траси)/40–50	2x500/50–160
Спектральний діапазон, мкм	0,5–0,8; 0,5–0,6; 0,6–0,7; 0,7–0,8	Довжина хвилі радіолокаційного випромінювання 9,6 см Поляризація сигналу (передача/прийм) Оглядовий режим ГГ Детальний режим ГГ або ВВ

Розробка глобальної європейської розвідувальної космічної системи йде завидними темпами [44-48]. Федеральне управління оборонних технологій і постачання Німеччини заявило (наприкінці 2003 року) про початок реалізації

другої фази дослідження питань, пов'язаних зі створенням розвідувальної космічної системи. В основі цієї системи лежить відкриття Франції доступу до можливостей німецьких космічних апаратів SAR-Lupe. Створенню цієї орбітальної космічної системи – першої масштабної космічної програми Німеччини, відкрито реалізованої у військових цілях.

Таблиця 8.7

**Характеристики відеоспектрометрів**

Показники	Відеоспектрометр «Никон-В»	Гіперспектральна відеокамера МКА «Астрогон»
Робочий діапазон спектру, мкм	0,5–0,8 (розробляється комплекс «Юнікон-УВИТ», призначений для одержання відеоданих ДЗЗ в ультрафіолетовому, видимому і тепловому діапазонах спектру)	0,2–0,9 1,0–1,4
Загальне число спектральних зон	256	700 (можливе збільшення до 1 тис.)
Можливості адаптивного управління	Вибирається від 10 до 100 спектральних зон	Реалізовано можливість адаптації по спектральних і просторових координатах
Ширина спектральних зон, нм	4–8	0,5–100
Просторова розрізненність, м	20 (у кадрі 15x12 км, з висоти 400 км)	5
Маса, кг	1,5	4

**Німеччина**

На одному зі стендів авіасалону "МАКС-2003" була представлена німецька компанія OHB-System AG і створювана нею орбітальна супутникова система SAR-Lupe.

Система SAR-Lupe, що передбачає розгортання в період 2005-2007 рр. орбітального угруповання з п'яти КА, призначена для радіолокаційного зондування Землі з надвисокою розрізненістю.

Програма SAR-Lupe знаменує собою важливий етап у розвитку засобів дистанційного зондування Землі взагалі і досить показова, оскільки демонструє ряд особливостей національної космічної програми Німеччини на сучасному етапі.

По-перше, з розгортанням цієї системи стає можливим гарантоване і швидке одержання зображень земної поверхні безпрецедентної розрізненості в будь-який час доби, поза залежністю від погодних і інших умов.

По-друге, висока інформативність радіолокаційних зображень у сполученні з великими обсягами даних, які можна буде одержувати за допомогою п'яти КА одночасно, дають користувачеві системи можливість швидкого збору інформації про значні території.

По-третє, користувачем системи є не просто Німеччина, а бундесвер; програма SAR-Lupe, мабуть, перша масштабна космічна програма Німеччини, відкрито реалізована у військових цілях.

Генеральним підрядчиком, що розробляє SAR-Lupe, є невелика компанія OHB-System AG, штаб-квартира якої розташована в так званому технологічному парку міста Бремен.

Згадана компанія займає одне з ведучих місць у світі (і лідируюче в Німеччині) в області розробки легких КА, апаратури для пілотованих космічних апаратів, розробки технологій розвідки і моніторингу місцевості, а також забезпечення безпеки.

Як повідомляється в офіційному прес-релізі компанії OHB-System AG, загальне число її співробітників – близько 300 чоловік, з них 160 працюють у головному офісі. У числі субпідрядників проекту – компанії Alcatel Space, EADS Dornier, Saab Ericsson Space, THALES, а також німецька COSMOS International.

Система SAR-Lupe буде складатися з орбітального угруповання, що включає п'ять легких КА, і наземного сегменту, що забезпечує управління КА, а також одержання, обробку і використання з їхньою допомогою інформації.

Очікується, що КА цього орбітального угруповання дозволять швидко одержувати високодетальні зображення необхідної території практично по всій земній кулі, причому незалежно від часу доби, хмарності, смогу (або аерозолів іншої природи).

Запуск першого КА намічений на 2005 рік, останнього з п'яти – на 2007 р. Передбачається, що система буде експлуатуватися в інтересах бундесверу аж до 2015 року.

Однакові КА, масою близько 770 кг кожний, розмістять на орбітах висотою 500 км, розташованих у трьох орбітальних площинах. У двох площинах будуть розміщені по два КА, у третій – один.

Для одержання зображень буде використовуватися режим синтезу антенної апертури (Synthetic Aperture Radar, SAR). Антена радара – фіксована щодо КА, параболічна.

Передбачаються два режими роботи антени радара: пролітного картографування (Strip-Map) і детальної об'єктової зйомки (Spot-light). В останньому випадку для збільшення загального часу збору даних КА у процесі зйомки буде змінювати свою орієнтацію (повертатися) таким чином, щоб антена була постійно спрямована на об'єкт, що знімається; це дозволяє значно поліпшити просторову розрізненність (у площині орбіти).

Даних про розрахункову розрізненність системи не наводиться; зазначено лише тільки те, що воно буде свідомо краще 1 метра. Це значно перевершує можливості функціонуючого зараз канадського радіолокаційного супутника Radarsat-1 (в різних режимах складає від 5-8 до 100 метрів). Протягом доби КА SAR-Lupe дозволять одержати більш 30 знімків цікавлячої замовника території, при цьому інтервал до одержання кінцевого продукту в середньому складе менш 11 годин (з імовірністю 95% знімки будуть отримані протягом 19 годин).

Зображення поверхні Землі, отримані за допомогою орбітальних радарів, відрізняють наступні важливі особливості:

радарну зйомку можна робити в будь-яку годину дня і ночі практично в будь-яких погодних умовах, незважаючи на туман, опади (дощ або сніг), наявність хмарності або задимленості;

у визначених умовах випромінювання радара може проникати всередину (збездвоженого) ґрунту, дозволяючи виявити на знімках сховані підґрунтові утворення й об'єкти;

радарні зображення дозволяють одержувати достовірну інформацію про об'єкти, що знаходяться під водою, (незважаючи на те, що радіовипромінювання не може проникнути крізь товщу води).

Зображення, отримані в радіохвильовому діапазоні, вдало доповнюють зображення у видимому й інфрачервоному діапазонах, дозволяючи підвищити обсяг інформації, що збирається, і її імовірність. З виходом радарних космічних систем на той же порядок просторової розрізненості, що й у систем видимого діапазону, можливості дистанційного зондування Землі з космосу багаторазово зростають. Поява ж орбітальних угруповань з декількох КА значно підвищує оперативність зйомки.

Радарні знімки є надзвичайно зручним і ефективним джерелом одержання детальної, точної і всеосяжної інформації про рельєф місцевості – набагато більш могутнім, оперативним, достовірним й економічним, чим використання, приміром, космічних стереопар або аерофотознімків.

В даний час для вирішення аналогічних задач все ширше починають застосовуватися системи авіаційної лазерної локації (так звані Лідари), однак із широким поширенням комерційних космічних радарних систем пріоритети можуть змінитися відразу.

В основі цієї системи – відкриття Франції доступу до системи SAR-Lupe в обмін на доступ Німеччини до французької системи оптичного діапазону

HELIOS II. Передбачається, що перші елементи системи будуть створені до кінця 2005 року, коли буде введена в стрій система HELIOS II.

Аналіз літератури [1-6] показує, що основними напрямками розвитку систем ДЗЗ високої розрізненної здатності є:

1. широке використання науково-технічного досвіду, отриманого під час розроблення військових програм видової розвідки, для створення комерційних систем видової зйомки з високою просторовою розрізненністю. Очікується, що у найближчі три роки у міру розвитку світового ринку видової продукції такі супутникові системи ДЗЗ не тільки набудуть рентабельності, але і стануть важливим доповненням військових систем видової розвідки при вирішенні завдань оперативного спостереження в кризових районах;

2. розширення співробітництва у сфері створення систем ДЗЗ “під ключ” на замовлення країн, що не мають власної аерокосмічної промисловості. Розвиток нової форми партнерства, при якій клієнт разом з власною наземною станцією здобуває також права на управління знімальною апаратурою супутника, що належить компанії-операторові, у межах зони радіобачення станції і на приймання інформації з борту супутника в реальному масштабі зйомки (“віртуальний власник супутника”);

3. створення систем подвійного призначення, призначених для вирішення завдань в інтересах національної безпеки і соціально-економічного розвитку (характерно для країн Європи й Азії) і об’єднання зусиль декількох країн-партнерів з метою розроблення спільних проєктів (Ізраїль – США, Німеччина – Ізраїль, Китай – Бразилія, країни Європи тощо).

У комерційному і військовому секторах широкого застосування знайдуть методи дослідження поверхні Землі на основі гіперспектральної і багатоспектральної зйомки з високою спектральною і просторовою розрізненністю. Інформація панхроматичної планової стереозйомки з високою просторовою розрізненністю буде використана в картографії, геоінформаційних

додатках для визначення координат і положення об'єктів і спостереження за їхнім функціонуванням [10 – 18].

Подальший прогрес у розвитку ринку видової продукції зв'язаний зі створенням комерційних систем ДЗЗ з півметровою розрізненністю. У пресі обговорюється можливий вплив космічних високодетальних зображень на розвиток промислового шпигунства у світі.

Таким чином, основними тенденціями в розробленні апаратури космічних систем ДЗЗ високої розрізненної здатності є:

1) створення багатосупутникових систем, що складаються з апаратів з оптико-електронними системами (ОЕС), що забезпечують всепогодну цілодобову зйомку об'єктів у глобальному масштабі з високою частотою відновлення інформації;

2) застосування заходів зменшення вартості проектів шляхом використання малогабаритних платформ, технологій, напрацьованих в оборонних програмах, і дешевих ракет-носіїв;

3) підвищення оперативності доведення інформації до споживачів шляхом передачі даних на мобільні наземні станції;

4) досягнення високої просторової розрізненності (до 0,5 м), впровадження технології гіперспектральної зйомки об'єктів з високою спектральною розрізненністю; реалізація режимів однопрохідної стереоскопічної зйомки;

5) збільшення швидкості й обсягу переданої інформації, впровадження апаратури бортової обробки і попереднього стиску інформації, використання бортових керованих антен і високошвидкісних ліній радіо й оптичного зв'язку;

6) підвищення радіометричних і геометричних властивостей зображень, зниження похибок визначення координат наземних об'єктів.

## ЗАКІНЧЕННЯ

Використання космічних засобів в інтересах підвищення рівня обороноздатності, національної та міжнародної безпеки стає традиційною, міжнародно визнаною, цивілізованою нормою. У залежності від стану міжнародної обстановки пріоритетні напрямки створення і розвитку космічних засобів воєнного призначення також можуть змінюватись. Незважаючи на велику увагу, яка приділяється воєнно-політичним керівництвом провідних країн світу розвитку систем космічної навігації, зв'язку, метеорологічного забезпечення та іншим, в останні роки відбувається відчутне зростання ролі космічних інформаційно-розвідувальних систем, що підтверджується аналізом зміни складу орбітальних угруповань КА у останніх воєнних конфліктах.

Космічні засоби значно розширюють можливості збройних сил по інтеграції та організації управління, зв'язку, розвідки, спостереження і, при необхідності, перешкоджають противнику використовувати аналогічні можливості наявних у нього космічних засобів. Вони дозволяють командувачам (командирам) на підставі максимально повної інформації про поточну обстановку і перспективи її розвитку диктувати умови і темп проведення операцій. Завоювання космічної та інформаційної переваги дає можливість встановити і утримувати панування в будь-якому іншому середовищі.

Для технологічно розвинених держав особливістю використання космічного простору стає намагання володіти власними космічними засобами воєнного призначення незалежно від інших країн, навіть незважаючи на тісне співробітництво в межах воєнно-політичних блоків або традиційні союзницькі відносини.

Збільшення кількості країн, які приймають участь в космічних програмах щодо створення космічних видів засобів розвідки і спостереження з високою розрізненною здатністю на місцевості в межах 1-5 метрів, що робить можливим

вже сьогодні по цифрових зображеннях детально дешифрувати до класу і типу такі наземні об'єкти, як бронетанкова техніка, літаки, аеродроми, військові підрозділи, мости, морські порти, залізничні станції та інші.

При цьому підтверджується нагальна потреба використання (поряд із розвідувальними та системами подвійного призначення) космічних систем комерційного призначення в інтересах збройних сил і спецслужб як у мирний час, так і при виникненні можливих війн і конфліктів. За поглядами іноземних фахівців комерційні КА знаходяться в більш безпечних умовах у порівнянні з розвідувальними супутниками, що можуть бути знищені противником з початком воєнного конфлікту. У перспективі комерційні КА будуть оснащуватися апаратурою, характеристики якої близькі до можливостей приладів воєнних супутників. Застосування таких КА дозволить доповнювати інформацію від воєнно-космічних засобів, здійснювати координатну прив'язку на місцевості на території будь-якої держави, вирішувати воєнно-стратегічні завдання, забезпечувати націлювання високоточної зброї на об'єкти противника.

Космічні фотознімки, що отримані за допомогою бортової оптико-електронної апаратури супутників різноманітного призначення, можуть бути корисні картографам, правоохоронним органам, нафтовим компаніям. Вони також можуть використовуватися при ліквідації наслідків природних і екологічних катастроф, при міському плануванні тощо.

Засоби дистанційного зондування Землі з космосу забезпечують стратегічні переваги державі і є важливим елементом коаліційної стратегії, у рамках якої країна може стати гарантом забезпечення міжнародної безпеки. Незважаючи на те, що вона буде зберігати можливість діяти самостійно, все більше в норму входять коаліційні воєнні операції. Розгортання військ разом з іншими державами підвищує важливість взаємодії. Космічні засоби здатні істотно підвищити ефективність взаємодії шляхом забезпечення доступу до систем загального користування, обробки даних і інформаційних баз. Вони

дають можливість військам у спільних операціях діяти більш ефективно. Інтегрування космічних можливостей у спільні операції повинне зміцнювати військове співробітництво і союзницькі структури, що буде сприяти подальшому зміцненню національної безпеки.

Панування в космосі та технологічна перевага зводить нанівець кількісну перевагу іншої сторони в живій силі і звичайних озброєннях та заставляє кардинально переглянути пріоритети в новій структурі збройних сил, у співвідношенні сил та засобів системи забезпечення операцій на всіх ланках системи управління.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мещеряков И.В. В мире космонавтики. Научно-популярное издание. – Н. Новгород: «Русский купец», 1996. – 368 с. с илл.
2. Инженерный справочник по космической технике // Изд. 2-е, перераб. и доп. Под ред. А.В. Солодова. – М.: Воениздат, 1997. – 430 с. с илл.
3. Застосування космічних систем для забезпечення дій збройних сил: Навчальний посібник. М. С. Пастушенко, В. І. Присяжний, В. О. Яновський та ін./ За редакцією кандидата військових наук професора В. І. Ткаченка. – Харків: ХВУ, 2003. – 192 с.
4. Закон України „Про космічну діяльність”. Постанова Верховної Ради України від 15 листопада 1996 року.
5. Концепція (основи державної політики) Національної безпеки України. Схвалена Постановою Верховної Ради України від 16 січня 1997 року №3/97-ВР.
6. Попов М. О. Шляхи отримання космічної інформації в інтересах національної безпеки та оборони // Наука і оборона. – 2003. – №2. – С.38-50.
7. Дистанційне зондування Землі: Терміни та визначення понять // ДСТУ 4220-2003. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 18 с.
8. Павлов В.М. Методические основы системных исследований военно-космических средств: Учеб. пособие. – М.: РВСН, 1998. – 235 с. с илл.
9. Лебедев А.А., Нестеренко О.П. Космические системы наблюдения: синтез и моделирование. – М.: Машиностроение, 1991. – 224 с. с илл.
10. Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. – М.: Издательство А и Б, 1997. – 296 с. с илл.
11. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации. – М.: Эко-Трендз, 2000. – 268 с. с илл.
12. Варламов І. Д., Іщенко Д. А., Омельчук В. В. Структурно-логічна послідовність операцій видового космічного дистанційного зондування Землі // Збірник наукових праць. – Житомир: ЖВІРЕ, 2001. – №4. – С.138-135.
13. Іщенко Д.А., Машков О.А., Омельчук О.В., Пекарев Д.В. Прог-ностичний аналіз тенденцій використання космічних систем дистанційного зондування Землі для глобального моніторингу в інтересах національної безпеки // Вісник ЖДТУ.– 2004.– №3(34) / Технічні науки. – С.116-120.
14. Горбулін В.П., Завалішин А.П., Беланов А.В., Лялько В.І., Драновський В.І. та ін. Дистанційне зондування Землі в Національній космічній програмі України // Вісник геодезії та картографії. – 1994. – №1. – С.55-60.
15. Національна (Загальнодержавна) космічна програма України 2003-2007 рр. – (Закон України №203-IV від 24.10. 2002 р.).
16. Патон Б.Є., Вавілова І.Б., Негода О.О., Яцків Я.С. Україна – космічна держава. Нові реалії 90-х років // Космічна наука і технологія. – 2001. – том 7. – №1. – С.79-90.
17. Облака и облачная атмосфера: Справочник // Под ред. д-ра физ-мат. наук, профессора И.П. Мазина и д-ра геогр. наук, профессора А.Х. Хргина. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 648 с. с илл.

18. Пономаренко И.Н. и др. Анализ эволюции облачности в Карпатах в теплый период года с использованием снимков искусственных спутников Земли//Труды Укр НИИ Госкомгидронета. – М.: Гидрометеиздат, 1985. – С.11-28.
19. Виноградов М. С. Проблемы военного использования космоса // [www.b-i.narod.ru](http://www.b-i.narod.ru)
20. Механика космического полета: Учебник для ВТУЗов / М.С. Кон-стантинов и др.; Под ред. В.П. Мишина. – М.: Машиностроение, 1989. – 408 с.
21. Левантовский В.И. Механика космического полета в элементарном изложении. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 512 с. с илл.
22. Нариманов Г.С. Основы теории полёта космических аппаратов. – М.: «Наука», 1972. – 780 с. с илл.
23. Карпович И. Н. Военное дешифрирование аэроснимков: Учебник. – М.: Военное издательство, 1990. – 544 с. с илл.
24. Кронберг П. Дистанционное зондирование Земли. – М.: Мир, 1988. – 350 с. с илл.
25. Природа Земли из космоса // Под ред. Н.П. Козлова. – Л.: Гидрометеиздат, 1984, – 151 с. с илл.
26. Ребрин Ю. К. Оптико-электронное разведывательное оборудование летательных аппаратов: Учебник. – К.: КВВАИУ, 1988. – 452 с. с илл.
27. Мирошников М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов. – Л.: Машиностроение, 1983. – 696 с. с илл.
28. Селиванов А.С. и др. Экспериментальный бортовой комплекс для наблюдения Земли // Исследования Земли из космоса. – 1981. – №5. – С. 35-39.
29. Варламов А.В., Кисиленко Г.А., Хорев А.А., Федоринов А.Н. Технические средства видовой разведки / Под ред. Хорева А.А. – М.: РВСН, 1997. – 327 с.
30. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны / В. Н. Антипов, В. Т. Горяинов, А. Н. Кулин и др.; Под ред. В. Т. Горяинова. – М.: Радио и связь, 1988. – 304 с. с илл.
31. Радиолокационные методы исследования Земли./ Ю.А. Мельник, С.Г. Зубкович, В.Д. Степаненко и др. Под. ред. Ю.А. Мельника. – М.: Советское радио, 1980. – 264 с. с илл.
32. Радіолокація: Терміни та визначення // ДСТУ 2663-94. – К.: Держ-стандарт України, 1994. – 43 с.
33. База даних СКАКО (система контролю і аналізу космічної обстановки). – Житомир: ЖВІРЕ, 2004.
34. Красовський Г.Я., Петросов В.А. Космічний моніторинг водних екосистем з використанням ГІС-технологій. – Київ: Український інститут досліджень навколишнього середовища і ресурсів, 2002. – 230с.
35. Анализ мирового опыта использования микроспутников в космических программах //Сайт [http:// www.iki.rssi.ru/ seminar /tarusa2003/ podob.ppt](http://www.iki.rssi.ru/seminar/tarusa2003/podob.ppt)
36. Космическая съемка Земли: Спутники оптической съемки Земли с высоким разрешением / Гл. ред. А.А. Кучейко. – М.: Журн. «Радио-техника», 2001. – 135 с.
37. Кучейко А.А. Наступление на рынке спутников высокого разрешения// Новости космонавтики. – 2001. – №5. – С.54-55.

38. Яблонский Л.А., Воронин Е.Н., Кашин В.М. Зарубежные космические программы космической видовой разведки // Зарубежное военное обозрение. – 2002. – С.29-37.
39. Кусков В.Д., Назаров Ю.П., Новикова Е.Л., Сенкевич В.П., Чернов В.В. Международные многонациональные интегрированные космические системы XXI века // Фундаментальные и прикладные проблемы космонавтики. – 2001. – №1. – С.41-45.
40. Кондауров Н.С., Кошелев А.В. Пути развития космических средств дистанционного зондирования Земли и возможные направления международного сотрудничества // Фундаментальные и прикладные проблемы космонавтики. – 2003. – №3. – С.37-39.
41. Волошин В.И., Драновский В.Й., Бушуев Г.П. Состояние, перспективы и проблемы рынка услуг дистанционного зондирования Земли из космоса // Природа. Людина. Суспільство. – 2002. – № 3. – С.23-36.
42. Лукашевич Е. Л., Горелов В. А., Стрельцов В. А. Комплексный анализ развития отечественного детального зондирования Земли // Исследование Земли из космоса. – 2001. – №4. – С. 40-50.
43. Сайт [www.bezpeka.com](http://www.bezpeka.com)
44. <http://www.aviapanorama.ru>;
45. <http://www.novosti-kosmonavtiki.ru>;
46. <http://vip.lenta.ru>;
47. [http://www.nima.mil/ast/fm/acq/USCommercialImageryPress Release03\\_11.pdf](http://www.nima.mil/ast/fm/acq/USCommercialImageryPress%20Release03_11.pdf)
48. <http://www.whitehouse.gov/news/releases/2003/05/20030513-8.html>
49. Ландстратов К. Центр Хруничева создает «Монитор» // Новости космонавтики. – 2001. – № 1(228). – С. 36–38.
50. Космический комплекс оптико-электронного наблюдения «Ресурс-ДК1» / Б.А. Абрамов, Ю.А. Лапутин, В.К. Скримунт, Л.К. Львова // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. – 2001. – № 2(29). – 3(30). – С. 42–45.
51. Витер В.В., Петровский В.А., Кучейко А.А. Космические аппараты радиолокационного наблюдения, созданные в НПО Машиностроения // Новости космонавтики. – 2001. – № 3(218). – С. 42–43.
52. Кучейко А. Российские перспективы в гиперспектре // Новости космонавтики. – 2001. – № 7(222). – С. 44.
53. **Интервью Генерального директора НКАУ А. А. Негоды еженедельнику «2000».**// **Аэрокосмический вестник. Еженедельное издание информационно-аналитического центра «СПЕЙС-ИНФОРМ».** – 6-12 апреля 2004 года. – №14(154).
54. **Аерокосмічна розвідка в локальних війнах сучасності: досвід, проблемні питання і тенденції / Л. М. Артюшин, С.П. Мосов, Д. В. П'яковський, В. Б. Толубко: Монографія.** – К.:НАОУ, 2002. – 202 с.
55. **Герман М.А. Основы космических методов исследования в метеорологии.**–Л.Гидрометеиздат,1975.–368 с.
56. **Голотюк С. Франция потратит миллиард на военную систему спутниковой связи//** **Новости космонавтики.** – 2001. –№2 (217).–С.47–48.
57. **Гончар А.Г., Ковалев А.П., Поляков А.П. Ракетно–космический комплекс как объект эксплуатации.** – Санкт–Петербург: ВИККИ им. МожайскогоА.Ф., 1997. – 329 с.

58. Горелов В.А., Лукашевич В.А., Стрельцов В.А.. Космические системы детального наблюдения Земли. – М.: ГИС-ассоциация, 1999. – Вып. 4 (1998). – С.26–35.
59. Гречищев А.В., Лихачов Ю.А.. Космические системы дистанционного зондирования Земли. – М.: ГИС-ассоциация, 1999. – Вып. 4 (1998). – С.83–92.
60. Космические радиотехнические комплексы /Под ред. С.И. Бычкова и П.В.Олянюка. – М.: МО СССР, 1975. – 420 с.
61. Аванесов Г.А. Оперативные средства получения космической видеoinформации оптического диапазона // Космические исследования земных ресурсов.–М.: Наука, 1975. –С. 24—34.
62. Аванесов Г.А., Зиман Я.Л. Многозональная сканирующая система «Фрагмент» //Исследования Земли из космоса.– 1981. –№5.–С. 45—55.
63. Аванпроект составной части космической системы «Сич-2». Наземный специальный комплекс "Сич-2"/ ДП «Дніпрокосмос».– 25527406.002. 003. ПЗ; Днепропетровск, 2002.– 304 с.
64. Авдуевский В.С., Успенский Г.Р. Космическая индустрия.–М.: Машиностроение, 1989.– 568 с.
65. Авдуевский В.С., Успенский Г.Р. Народно-хозяйственные и научные космические комплексы.– М.: Машиностроение,– 1985.– 416 с.
66. Альшевский С.В., Батуев А.Л., Стрельников А.Т. Состояние и перспективы применения военно–космических средств зарубежных государств. – М.: Воениздат, 1991. – 180 с.
67. Баринов К.Н. Динамика и принципы построения орбитальных систем КА. – М.: Машиностроение. – 1975. – 232 с.
68. Борчев М.А. Околосемный космос как возможная сфера вооруженной борьбы //Военная мысль.– 1988.– № 3. –С.16– 24.
69. Брандин В.Н., Васильев А.А., Худяков С.Е. Основы экспериментальной космической баллистики. – М.: Машиностроение, 1974. – 350 с.
70. Военная техника космической связи / В.В. Бочков, В.П. Вахрушев, В.И. Носков, И.А. Храповицкий. – К.: КВВИУС, 1990. – 36 с.
71. Военна доктрина України // Народна армія.–2003.– 26 жовтня.
72. Глазов Б.И. Автоматизация управления средствами и частями полигонных и космических комплексов.– М.: МО СССР, 1988.–328 с.
73. Гончар А.Г., Ковалев А.П., Поляков А.П. Ракетно–космический комплекс как объект эксплуатации. – Санкт–Петербург: ВИККИ им. Можайского А.Ф., 1997. – 329 с.
74. Гришин С.Д. Выбор орбит ИСЗ для исследования природных ресурсов Земли //Космические исследования земных ресурсов.–М.: Наука, 1975.–С. 310—316.
75. Журавкин Ю. В полёте два КА военной связи первый итальянский и очередной британский // Новости космонавтики. – 2001. – №4(219). – С.40–42.
76. Инженерный справочник по космической технике / Под ред. А.В. Солодова – М.: Воениздат, 1977. – 220 с.
77. Интернет-сайт компании Iconos <http://www.iconos.com>
78. Интернет-сайт компании Landsat <http://www.landsat.gsfc.nasa.gov>

79. Интернет-сайт компании NASA [http:// www.es.nasa.gov](http://www.es.nasa.gov)
80. Интернет-сайт компании Orbview <http://www.orbview.com>
81. Интернет-сайт компании SIESAT: <http://www.spaceimaging.com>
82. Интернет-сайт Совинформспутник: <http://www.svinfrsputnik.com>
83. Использование космического пространства в военных целях и перспективы развития космических сил США /Под ред. ктн, доцента Анненкова В.И. – М.: МО РФ. – 1995. – 216 с.
84. Козлов Н.П., Сагдеев Р.З., Шереметьевский Н.Н. Комплексный эксперимент на ИСЗ «Метеор» — важный шаг в развитии оперативных исследований Земли из космоса // Исследования Земли из космоса.– 1981.– №5.– С. 5–8.
85. Конституція України.– К.: Юрінком, 2003.–80с.
86. Концепція створення та розвитку наземного комплексу прийому та обробки інформації ДЗЗ різного розрізнення і частотних діапазонів: Звіт про НДВР/ ЦУП КА; Інв. № 251.–К.,2001.–30с.
87. Космические радиотехнические комплексы /Под общ. ред. С.В. Стогова. – М., 1986. – 626 с.
88. Космическое оружие: дилемма безопасности /Под общ. ред. Е.П. Велихова. – М.: Мир, 1986. – 308 с.
89. Космічне право України. Збірник нормативно–правових актів та міжнародних документів. – К.: Видавничий дім, 1999.
90. Космонавтика: Энциклопедия.– М.: Сов. энциклопедия, 1985.– 528 с.
91. Моделирование и оценка эффективности применения космических систем. Часть 2. / Под ред. Пастушенко Н.С. и Деденка В.П. – Харьков: ХВУ, 1997.– 150 с.
92. Наземний радіотехнічний комплекс управління та ідентифікації космічних апаратів/ А.М. Явтушенко, С.В. Козелков, В.І. Богомья: Навч. посіб.– К.: НАОУ, 2004. – 40 с.
93. Основы синтеза систем летательных аппаратов /Под ред. А.А. Лебедева.–М.: Машиностроение, 1987. –224 с.
94. Основы теории полета космических аппаратов /Под ред. Г.С. Нариманова и М.К. Тихонравова.– М.: Машиностроение, 1972.– 608 с.
95. Попович П.Р., Скребушевский Б.С. Баллистическое проектирование космических систем.– М.: Машиностроение, 1987.– 340 с.
96. Рами Н.С., Кузина А.М., Мальцева И.Т. Параметры орбит и датчиков системы ИПРЗ //Исследования Земли из космоса. –1980.– №2.– С. 57–65.
97. Ребрин Ю.К., Станкевич С.А., Мосов С.П. Методы количественной оценки эффективности средств аэрокосмической разведки. – К.: КИВВС,1997. – 262 с.
98. Сильвестров С.Д., Васильев В.В. Структура космических измерительных систем.– М.: Сов. Радио, 1979.–224 с.
99. Сучасні космічні системи оптичної зйомки Землі / А.М. Явтушенко, С.В. Козелков, В.І. Богомья, С.Д. Ставицький: Навч. посіб.– К.: НАОУ, 2004. – 80 с.
100. Техника получения изображений высокой четкости / Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств-участников

- СНГ и технических средствах их выявления. Серия: Технические средства разведывательных служб капиталистических государств // ЕИБ ВИНТИ. – 1996. - №1. – С.15–18.
101. Ткаченко В.І. Застосування космічних систем для забезпечення дій збройних сил: Навчальний посібник. – Харків: ХВУ, 2001. – 192 с.
  102. Ханцеверов Ф.Р., Остроухов В.В. Моделирование космических систем изучения природных ресурсов Земли.–М.: Машиностроение,1989.– 264 с.
  103. Хуторовский З.Н. Ведение каталога космических объектов // Космические исследования.–1993. – Вып.№ 4. С.20–29.
  104. Гонин Г.Б. Космические съемки Земли. – М.: Недра, 1989. – 252с
  105. Гимельфарб Г.Л. Автоматизированная межотраслевая обработка снимков земной поверхности с ИСЗ серии “Landsat” // ЗРЭ. – 1983. - №8. – С.56–84.
  106. Вартанисян В.А. Радиоэлектронная разведка. – М.: Воениздат, 1991. – 254 с.
  107. Ребрин Ю.К. Оптико-электронное разведывательное оборудование летательных аппаратов: Учебник. – К.: КВВАИУ, 1988. – 450 с.
  108. Глушко В.П. Развитие ракетостроения и космонавтики в СССР. – М.: Машиностроение, 1981. – 205 с.
  109. Пионеры ракетной техники. Кибальчич, Циолковский, Цандер, Кондратюк. Избранные труды. – М.: Наука, 1964 – 671 с.
  110. Пионеры ракетной техники. Гансвиндт, Гаддард, Эсно-Пельтри, Оберт, Гоман. Избранные труды. – М.: Наука, 1977. – 632 с.
  111. Кондратюк Ю. Про завойовування міжпланетних просторів. – К.: Вид-во КМУЦА, 1996. – 118 с.
  112. Техника получения изображений высокой четкости / Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств-участников СНГ и технических средствах их выявления. Серия: Технические средства разведывательных служб капиталистических государств // ЕИБ ВИНТИ. – 1996. - №1. – С.15–18.
  113. Андронов А., Шевров Р. Американские космические системы видовой разведки // ЗВО. – 1995. - №2. – С.39–42.
  114. Спутники видовой разведки // НТБ НЦУИ КС. – 1998. – №8. – С.8–11.
  115. Андронов А. Китайские спутники фоторазведки // ЗВО. – 1993. – №4. – С.43–46.
  116. Космические разведывательные программы Франции и стран Западной Европы / Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств-участников СНГ и технических средствах их выявления. Серия: Технические средства разведывательных служб капиталистических государств // ЕИБ ВИНТИ. – 1996. – №9. – С.8–10.
  117. Европейская военная система наблюдения из космоса / Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств-участников СНГ и технических средствах их выявления. Серия: Технические средства разведывательных служб капиталистических государств // ЕИБ ВИНТИ. – 1996. – №9. – С.5–8.

118. Аванпроект составной части космической системы оптико-электронного наблюдения Земли “Січ-2”. ПЗ. Кн.1. – Днепропетровск: ГП “Днепркосмос”, 2000. – 345 с.
119. Кузнецов А.Н. Технические возможности космических средств США // ВМ. – 1992. – №8,9. – С.70–76.
120. Luftlandesoperations in Vergangenheit, Gegenwart Zukunft // Europäische Sicherheit. – 1999. – №6. – S.22–25.
121. Die Kosovo-Krise im Kontext der Operation “Entschlossene Kraft” // (Information für Truppen): Bundeswehr. – 1999. – №5. – S.168–172.
122. Андронов А., Шевров Р. Американские космические системы видовой разведки // ЗВО. – 1995. - №3. – С.37-44.
123. Андронов А., Шевров Р. Американские спутники РТР типа “Феррет” // 1994. - №6. – С.40-44.
124. Договір з відкритого неба, ратифікований Законом України № 1509-III (1509-14) від 02.03.2000р.
125. Аналитический обзор: Боевые действия в зоне Персидского залива. – М.: ТАСС, 1991. – 82 с.
126. Васильев Г. Военная операция “Буря в пустыне” // ЗВО. – 1991. - №3. – С.10–14.
127. Современные средства тактической воздушной разведки / Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств-участников СНГ и технических средствах их выявления. Серия: Технические средства разведывательных служб капиталистических государств // ЕИБ ВИНТИ. – 1995. – №7. – С.3–10.
128. Разведывательное сообщество США / Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств-участников СНГ и технических средствах их выявления. Серия: Технические средства разведывательных служб капиталистических государств // ЕИБ ВИНТИ. – 1997. – №6. – С.3–18.
129. Спутники видовой разведки / Научно-технический бюллетень №8 (Обзор по материалам печати). – Евпатория: ОНИИР, 1998. – С.8-11.
130. Роль военной радиолокации в будущих конфликтах / Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств-участников СНГ и технических средствах их выявления. Серия: Технические средства разведывательных служб капиталистических государств // ЕИБ ВИНТИ. – 1996. – №2. – С.13–20.
131. Васильев Г. Операция вооруженных сил США “Дезерт Шилд” // ЗВО. – 1991. – №1. – С.5–11.
132. ВВС США в Персидском заливе (итоги и анализ боевых действий) // Бюллетень иностранной научной и технической информации. Серия 1: Естественные науки, техника. ИТАР-ТАСС. – 1993. – №14(2624). – С.3–12.
133. Война в Персидском заливе // Бюллетень иностранной научной и технической информации. Серия 1: Естественные науки, техника. ТАСС. – 1991. – №8(2514). – 32 с.
134. Military Technology. – 1994. – №11. – P.38–48.
135. Аналитический обзор. Некоторые итоги боевых действий авиации НАТО в Югославии. – 2000. – 22 с.

136. Локальные войны: история и современность / Под ред. И.Е. Шаврова. – М.: Воениздат, 1981. – 304 с.
137. Aerospace America. – 1999. – October. – P.26–35.
138. Jane's International Defense Review. – 2000. – February. – P.14.
139. Дода Л.Н. О демаскирующих признаках космических средств разведки // ВМ. – 1992. – №10. – С.42–47.
140. Применение космической съемки при урегулировании территориальных споров на островах Спратли / Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств-участников СНГ и технических средствах их выявления. Серия: Технические средства разведывательных служб капиталистических государств // ЕИБ ВИНТИ.– 2000. – №12. – С.13–18.
141. Новые средства визуальной и радиолокационной разведки вооруженных сил США / Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств-участников СНГ и технических средствах их выявления. Серия: Технические средства разведывательных служб капиталистических государств // ЕИБ ВИНТИ. – 1995. – №9. – С.17–20.
142. Бабич В. Действительные результаты войны в Персидском заливе // ЗВО. – 1996. – №9. – С.30–34.
143. Реорганизация оборонного космического руководства США / Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств-участников СНГ и технических средствах их выявления. Серия: Технические средства разведывательных служб капиталистических государств // ЕИБ ВИНТИ. – 1996. – №9. – С.3–5.
144. Keaney T.A., Cohen E.A. Revolution in Warfare? Air Power in The Persian Gulf. – Annapolis, Maryland, 1993. – 316 p.
145. Алексеев А. Анализ боевого применения авиации США в ходе операции "Решительная сила" // ЗВО. – 2001. – №1. – С.20–26.
146. Аэрокосмические разведывательные системы / Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств-участников СНГ и технических средствах их выявления. Серия: Технические средства разведывательных служб капиталистических государств // ЕИБ ВИНТИ. – 1997. – №5. – С.3–9.
147. Горбулин В.П. Реформа военной организации государства. Концептуальные подходы // Зеркало недели. – 2001. – №48(372). – С.4.
148. Дорофеев В. Взгляды американского военного руководства на формы боевого применения космических сил // ЗВО. – 2001. – №8. – С.25–32.
149. Дорофеев В. США: использование космоса в военных целях // ЗВО. – 2001. – №5–6. – С.43–48.
150. Война в космосе / Научно-технический бюллетень № 8 (Обзор по материалам печати). – Евпатория: ОНИИР, 1998. – С.7.
151. Коптев Ю. К 10-летию со дня образования Росавиакосмоса // Вестник АиК. – 2002. – №1. – С.4–6.
152. Перспективы развития американской спутниковой техники / Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств-участников СНГ и технических средствах их выявления. Серия: Технические средства

- разведывательных служб капиталистических государств // ЕИБ ВИНТИ. – 1996. – №7. – С.18–22.
153. Перспективы развития американской спутниковой техники / Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств-участников СНГ и технических средствах их выявления. Серия: Технические средства разведывательных служб капиталистических государств // ЕИБ ВИНТИ. – 2000. – №1. – С.14–15.
154. Франция наращивает разведывательные мощности в космосе / Научно-технический бюллетень № 21 (Обзор по материалам печати). – Евпатория: ОНИИР, 2000. – С.6–12.
155. Коммерциализация космических систем дистанционного зондирования / Научно-технический бюллетень № 33 (Обзор по материалам печати). – Евпатория: ОНИИР, 2000. – С.23–27.
156. Индия создает космическую разведку / Научно-технический бюллетень № 35 (Обзор по материалам печати). – Евпатория: ОНИИР, 2000. – С.22–24.
157. [www/airwar.ru](http://www/airwar.ru) (зображення).
158. Военный энциклопедический словарь. – М.: Воениздат, 1983. – 863 с.
159. Физическая оптика. Термины, буквенные обозначения и определения основных величин. ГОСТ 7601-78. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 27 с.

## ЗМІСТ

ВСТУП	3
1. ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ З КОСМОСУ	9
1.1. Становлення дослідження Землі з космосу	9
1.2. Космічні системи ДЗЗ Сполучених Штатів Америки	15
1.3. Космічні системи ДЗЗ Російської Федерації	26
1.4. Космічні системи ДЗЗ Китайської Народної Республіки	33
1.5. Космічні системи ДЗЗ Франції	35
1.6. Космічні системи ДЗЗ Великобританії	37
1.7. Космічні системи ДЗЗ Німеччини	39
1.8. Космічні системи ДЗЗ Японії	39
1.9. Космічні системи ДЗЗ Ізраїлю	40
1.10. Космічні системи ДЗЗ Індії	42
1.11. Космічні системи ДЗЗ Республіки Корея	43
2. ЗАВДАННЯ ТА ОБ'ЄКТИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ СИСТЕМАМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ З КОСМОСУ	45
2.1. Загальні завдання систем дистанційного зондування Землі військового та цивільного призначення.	45
2.2. Загальна класифікація об'єктів космічної розвідки і спостереження	55
2.3. Вимоги, що висуваються до засобів космічного спостереження	59
2.4. Технічні вимоги до космічних систем спостереження	64
3. ФІЗИЧНІ ПРИНЦИПИ ДІЇ КОСМІЧНИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ	70
3.1. Космічний простір, як сфера застосування космічних засобів	70
3.2. Принципи формування зображення системами космічного спостереження	88
3.2.1. Загальна характеристика електромагнітного випромінювання	88
3.2.2. Принципи формування зображень засобами оптичного діапазону	91
3.2.3. Принципи формування радіолокаційних зображень місцевості	103
3.3. Структурно-логічна послідовність операцій оптико-електронного космічного спостереження	115
4. КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ	125
4.1. Загальна характеристика космічних систем ДЗЗ	125
4.2. Види та основні показники зображень дистанційного зондування Землі з космосу	133
5. ЗАСТОСУВАННЯ КОСМІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕННЯ У ЛОКАЛЬНИХ ВІЙНАХ ТА ЗБРОЙНИХ КОНФЛІКТАХ	149
5.1. Досвід застосування космічних систем спостереження в зоні Перської затоки (1990-1991 рр)	152

5.2. Досвід застосування космічних систем спостереження у Балканській кризі (1999 р.)	165
5.3. Досвід застосування космічних систем спостереження для забезпечення антитерористичної операції в Афганістані (2001 р.)	171
5.4. Досвід застосування космічних систем спостереження в зоні бойових дій в Іраку (2002-2003 рр.)	175
6. ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОСМІЧНИХ СИСТЕМ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	188
7. НАЗЕМНА ІНФРАСТРУКТУРА СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ З КОСМОСУ	195
8. СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ ЩОДО РОЗРОБКИ ТА ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ КОСМІЧНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ	209
ЗАКІНЧЕННЯ	229
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	232