

**Б.В.Перелигін**

**Одержання, передача, прийом і надання  
локаційної космічної інформації**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Б.В.Перелигін**

**Одержання, передача, прийом і надання  
локаційної космічної інформації**

**Навчальний посібник**

**Одеса**

ББК 39.62  
П 27  
УДК 551.508.826

У навчальному посібнику викладені основні задачі космічного моніторингу, розглянуті технічні засоби космічного моніторингу і характеристика їхньої наукової апаратури, фізичні та технічні принципи одержання локаційної космічної інформації, форми її представлення, принципи формування телеметричної інформації оглядових систем космічних апаратів, новітні технічні засоби одержання космічної інформації: їхні характеристики, принцип роботи, основи експлуатації і первинної обробки космічної інформації.

Посібник розрахований на студентів, магістрів, аспірантів комп'ютерних наук, а також може бути корисним для гідрометеорологів та екологів.

Рецензенти:

д-р техн. наук, проф. **С.А. Нестеренко**  
канд. техн. наук, проф. **В.Г. Головань**  
канд. техн. наук, доц. **А.С. Ободовський**

Гриф надано Міністерством освіти і науки України  
(лист № 14/18.2-367 від 15.02.2006 р.).

П 1805040400-002 Без оголош.  
2006

© Б.В.Перелигін, 2006  
© Одеський державний  
екологічний університет, 2006

ISBN 966-8740-15-7

## ЗМІСТ

	Стор.
Вступ.....	5
1 Основні задачі і технічні засоби космічного моніторингу.....	6
2 Фізичні і технічні принципи одержання локаційної космічної інформації.....	12
2.1 Основні поняття про рух штучного супутника Землі. Орбіти штучних супутників Землі.....	12
2.2 Фізичні основи одержання локаційної космічної інформації. Характеристика методів пасивного й активного дистанційного зондування. Типи супутникової апаратури.....	19
3 Форми представлення космічної інформації і її візуалізація...	27
3.1 Основні види космічної гідрометеорологічної інформації і вимоги, що надаються до неї.....	27
3.2 Космічні знімки.....	29
3.3 Радіаційні, спектрометричні і мікрохвильові дані.....	34
4 Характеристика наукової апаратури космічного апарата «СІЧ».....	37
5 Характеристика наукової апаратури космічного апарата «НОАА».....	42
6 Принципи формування телеметричної інформації оглядових систем космічних апаратів.....	46
7 Призначення, склад, характеристики і можливості станції «КОСМЕК».....	54
8 Будова і принцип роботи станції «КОСМЕК».....	59
9 Перетворення космічної інформації в звуковому контролері комп'ютера.....	67
9.1 Звукові файли.....	67
9.2 Дискретизація і квантування.....	68
9.3 Звуковий контролер комп'ютера.....	69
9.4 FM–синтез.....	70
9.5 WT-синтез.....	70
10 Основи експлуатації станції «КОСМЕК».....	72
10.1 Підключення станції.....	72
10.2 Вмикання станції.....	72
10.3 Керування антеною.....	74
10.4 Одержання і первинна обробка космічної гідрометеорологічної інформації .....	75

Предметний покажчик.....	84
Бібліографічний список.....	88

## ВСТУП

Дані дистанційного зондування Землі зі штучних супутників знаходять широке застосування. Це обумовлюється багатьма причинами, серед яких однією з основних є та, що кількість супутників, виведених на орбіту різними країнами, безупинно збільшується.

Цінність супутникових гідрометеорологічних спостережень складається з можливості оперативного одержання глобальних даних, а також даних по важкодоступних районах, що розташовані у будь-якій місці Землі і поверхні океану.

На ранніх етапах розвитку супутникової мережі найбільший ефект при використанні давала інформація, прийнята від метеорологічних супутників сімейства NOAA і Метеор у силу її високої регулярності. Інформація від інших супутникових систем, а саме: Океан, Січ, Ресурс і інших, у господарських інтересах використовувалася від випадку до випадку і рідко на регулярній основі. Це було зв'язано з тим, що прийом інформації здійснювався на комплексах технічних засобів, зосереджених у регіональних центрах прийому даних і приналежних до окремих відомств. Такий підхід приводив до того, що губилася основна перевага космічної інформації - оперативний перегляд великих територій, тому що при нерозвиненій інфраструктурі передачі даних основний час йшов на доставку інформації кінцевому користувачу. Крім того, обробка інформації в таких центрах була орієнтована на великі спеціалізовані комплекси технічних засобів, що принципово утрудняло доступ користувачів до інформації на ранніх етапах обробки.

В цей час прийом інформації з деяких супутників здійснюється безкоштовно за концепцією «відкрите небо» Всесвітньої Метеорологічної Організації (WMO), для чого створені прості і надійні засоби прийому й обробки супутникової інформації метеорологічного і природноресурсного призначення. Прикладом подібної системи може служити персональна станція прийому супутникової інформації «КОСМЕК».

## 1 ОСНОВНІ ЗАДАЧІ І ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ КОСМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

При рішенні задач моніторингу необхідно користатися інформацією від відповідних задачам супутників, що зазначені в таблиці 1.1. Умовні позначки, використовувані в таблиці 1.1: **О** – оптичний діапазон, **Р** – радіолокаційний діапазон, **Т** – тепловий (інфрачервоний) діапазон, **М** – апаратура з малим розрізненням, **С** – апаратура із середнім розрізненням, **В** – апаратура з високим розрізненням, 1...9 – група супутників, зазначена в примітках до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Задачі, розв'язувані супутниками, і типи апаратури встановленої на них

№ п/п	Задачі	Тип апаратури								
		О			Р			Т		
		М	С	В	М	С	В	М	С	В
1	Контроль забруднення прибережних акваторій	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Контроль явищ берегової абразії	1	2	3			6			
3	Контроль зміни рельєфу дна мілководних прибережних зон			3			6			
4	Визначення меж землекористування в сільськогосподарському землеробстві			3			6			9
5	Визначення границь землекористування в населених пунктах			3			6			9
6	Контроль розробки і рекультивації відкритих кар'єрів		2	3			6		8	9
7	Контроль забруднення Азово-Чорноморського басейну в місцях видобутку газового конденсату			3	4	5	6	7	8	9
8	Пошук корисних копалин (нафта, вапняк, брудни, мінеральні солі, залізна руда, буре вугілля)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
9	Аналіз забруднення атмосфери міст, промислових зон і визначення зони забруднення навколишньої території продуктами димових викидів	1	2	3				7	8	9
10	Динаміка росту великих населених пунктів		2	3					8	9
11	Тепловий режим у промислових зонах і зонах									9

№ п/п	Задачі	Тип апаратури								
		О			Р			Т		
		М	С	В	М	С	В	М	С	В
	житлових забудов									
12	Біокліматична оцінка природно-господарських умов виростання основних фітоценозів у різних ландшафтних зонах регіону на основі аналізу багаторічних даних метеоспостережень і даних супутникових зйомок	1	2		4	5		7	8	
13	Оцінка врожайності ранніх зернових у середньому по адміністративному району	1			4	5		7	8	
14	Динаміка формування середньої по району врожайності ранніх зернових	1			4			7		
15	Задачі, що пов'язані з оцінкою виробничої врожайності сільгоспкультур у межах поля			3			6			9
16	Визначення зон пригнобленого стану рослин на засолених ґрунтах	1	2	3	4	5	6	7	8	9
17	Оцінка ефективності роботи зрошувальних систем	1	2		4	5		7	8	
18	Оцінка ефективності роботи горизонтального дренажу			3			6			9
19	Своєчасне виявлення сільськогосподарських полів з неефективною технологією поливу			3			6			9
20	Оцінка просторового розподілу поливної води по площі поля			3			6			9
21	Контроль динаміки ґрунтової ерозії			3						
22	Моніторинг стану мочаристих ґрунтів передгірних зон			3			6			9
23	Контроль пожеж у лісах, у степу, на полях	1	2					7	8	
24	Контроль несприятливих метеорологічних умов (ожеледь, сніжні замети, зливи, посуха)	1	2					7	8	
25	Контроль паводкових явищ і явищ підтоплення територій населених пунктів	1	2	3	4	5	6	7	8	9
26	Контроль наслідків морських аварій			3	4	5	6	7	8	9
27	Передбачення землетрусів							7		
28	Оцінка стану гребель, магістральних зрошувальних каналів						6	7	8	9
29	Контроль зсувних явищ			3			6			9
30	Контроль стану магістральних нафтових і газопроводів						6			9
31	Контроль стану ліній високовольтних передач						6			



№ п/п	Задачі	Тип апаратури								
		О			Р			Т		
		м	с	в	м	с	в	м	с	в
32	Контроль просторового розподілу атмосферних опадів (дощ, град)	1	2	3	4	5	6	7	8	
33	Визначення параметрів приводного вітру				4					
34	Спостереження за хмарністю	1						7		
35	Контроль стану льодової обстановки на внутрішніх і зовнішніх водоймах	1	2	3	4	5	6	7	8	9
36	Температура поверхні води							7	8	9
37	Температура поверхні ґрунту							7	8	9
38	Актинометричні виміри, радіаційний баланс							7		

Примітки:

1 – Insat, Meteosat, Метеор, NOAA, Ресурс, Seastar, Spot 4, Terra.

2 – Adeos, Irs, Океан, Ресурс, Січ, Terra.

3 – Irs, Landsat, Ресурс, Spot, Terra, Монітор.

4 – Океан, Січ.

5 – Radarsat.

6 – Ers, Jers, Radarsat.

7 – Insat, Meteosat, NOAA, Spot, Terra.

8 – Adeos, Irs, Landsat, Terra.

9 – Landsat, Spot, Terra.

Супутник, призначений для моніторингу – це космічна автоматична обсерваторія чи космічна система дистанційного зондування Землі (КСДЗ), оснащена складним електротехнічним, оптико-механічним і радіоелектронним устаткуванням виміру, запам'ятовування і передачі інформації. Його комплекс бортової апаратури може бути умовно розділений на дві групи:

- комплекс наукової апаратури;
- комплекс службової апаратури.

*Комплекс наукової апаратури* призначений для одержання моніторингової інформації.

*Комплекс службової апаратури* призначений для підтримки нормального функціонування наукової апаратури і всього супутника в цілому.

У залежності від задач, поставлених перед вимірами, комплекс наукової апаратури може містити в собі системи вимірів, що працюють у різних діапазонах електромагнітного спектра. Для супутників, що забезпечують одержання регулярної інформації, найбільше застосування

одержали виміри у видимому, інфрачервоному і мікрохвильовому (НВЧ) діапазонах електромагнітного спектра. Комплекти наукової апаратури окремих метеорологічних супутників Землі (МСЗ) можуть відрізнятися один від одного.

*Принцип сканування.* На сучасних супутниках встановлюється апаратура, що працює за принципом оптико-механічного сканування. Це забезпечує поелементний перегляд підстильної поверхні у досить вузькому тілесному куті. Такий кут називають кутом поля зору приладу. Кут зору приладу утворить конус, перетин якого поверхнею земного еліпсоїда визначає елементарну площадку земної поверхні, названу розрізненням приладу. Розрізнення є найважливішою характеристикою приладу. Іншою не менш важливою характеристикою є смуга огляду (перегляду) земної поверхні. Перегляд смуги підстильної поверхні здійснюється за рахунок переміщення елементарного поля зору в площині, перпендикулярній до площині орбіти. Принцип сканування проілюстрований на рис.1.1.

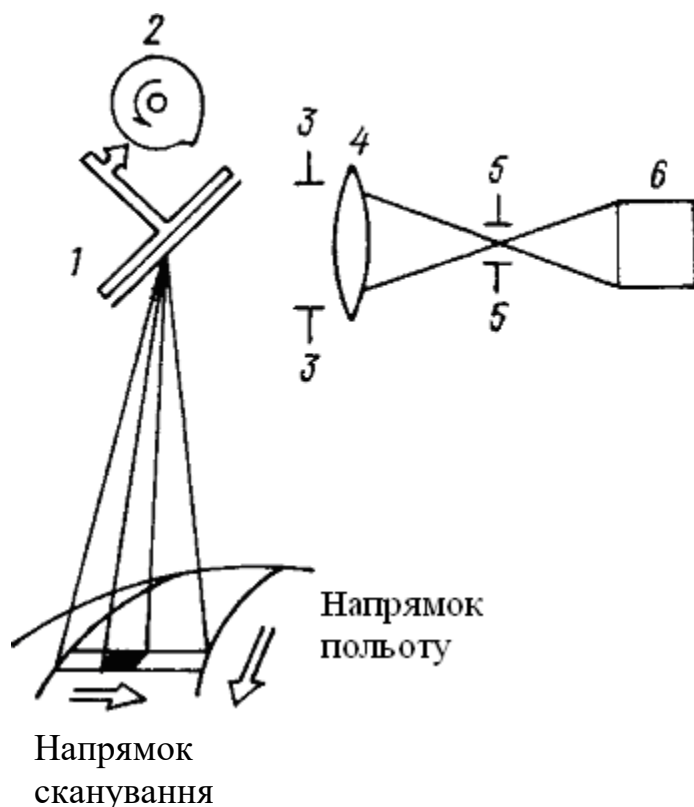


Рис.1.1 – Принцип сканування

1 – дзеркало, що сканує, 2 – кулачок привода дзеркала, 3 – діафрагма об'єктива, 4 – об'єктив, 5 – діафрагма приймача, 6 – приймач випромінювання

Сполучення переміщення елементарної площадки по рядку сканування з поступальним її переміщенням по поверхні Землі (у результаті руху супутника по орбіті) дозволяє одержати картину двовимірного розподілу інтенсивності відбитої випроміненої і розсіяної радіації в тім чи іншому діапазоні спектра електромагнітних хвиль.

**Космічний апарат Січ.** Цей космічний апарат призначений для одержання оперативної інформації про Землю в оптичному, інфрачервоному і мікрохвильовому діапазонах спектра. Дозволяє вирішувати задачі по моніторингу льодових і снігових покривів, глобальному моніторингу хмарного покриву, визначенню інтегральної вологості атмосфери, водяного запасу хмар, інтенсивності опадів, швидкості приводного вітру, визначенню вертикальних профілів температури і вологості, визначенню температури поверхні океану, діагностики процесів діяльного шару океану, визначенню кольоровості і біологічної продуктивності вод океану, дослідженню рослинного покриву.

**Космічний апарат Метеор.** Дозволяє оперативно на регулярній основі одержувати 2 рази за добу зображення хмарності і підстильної поверхні Землі у видимому й інфрачервоному діапазонах, дані про температуру і вологість повітря, температуру морської поверхні і хмар. Одержувати дані про потоки корпускулярних випромінювань, рентгенівського випромінювання і сумарної енергії усіх випромінювань. Здійснювати моніторинг озоносфери.

**Космічний апарат Ресурс.** На космічному апараті встановлений комплекс апаратури для вивчення природних ресурсів Землі, екологічного контролю, метеорологічного забезпечення, проведення геліо- і геофізичних спостережень, дослідження радіаційного балансу Землі.

**Космічний апарат Океан.** Апарат призначений для складання морських гідрометеорологічних і спеціалізованих прогнозів, забезпечення безпеки судноплавства і вибору оптимальних маршрутів суден. Виявляє райони забруднення поверхні морів і океанів. З його допомогою вивчають діяльний шар в океані, вивчають континентальний шельф, визначають і прогнозують динамічний і термодинамічний стан Світового океану. Апарат призначений також і для визначення поля вітру по дрейфі хмар, визначення водяного запасу хмар, границь зон опадів і їхньої інтенсивності. Він дозволяє визначити фізичний стан льодового покриву, його зруйнованість, вік, засніженість, торосність, а також з його допомогою розпізнають типи ґрунтів, типи лісів, контролюють стан рослинності і ґрунту, визначають лісові і степові пожежі, здійснюють екологічний і кризовий моніторинг, досліджують геологічні структури.

**Космічний апарат NOAA.** Космічний апарат дозволяє вирішувати задачі, зв'язані з прогнозуванням погоди, а також для одержання

інформації дистанційного зондування в інтересах сільського і лісового господарства, кліматології й океанографії, моніторингу стану навколишнього середовища, при вивченні навколоземного космічного простору, озонового шару і змісту аерозолів в атмосфері, при зйомці сніжного і льодового покривів Землі. Крім того, на космічному апараті встановлена апаратура для збору даних з наземних метеорологічних платформ, а також устаткування прийому сигналів небезпеки в рамках системи Коспас/SARSAT.

### Питання для самоконтролю

1. Основні задачі, розв'язувані супутниками.
2. Комплекси апаратури супутників, їх призначення.
3. Принцип сканування.
4. Загальна характеристика космічного апарата “Січ”.
5. Загальна характеристика космічного апарата “Метеор”.
6. Загальна характеристика космічного апарата “Ресурс”.
7. Загальна характеристика космічного апарата “Океан”.
8. Загальна характеристика космічного апарата “NOAA”.

## **2 ФІЗИЧНІ І ТЕХНІЧНІ ПРИНЦИПИ ОДЕРЖАННЯ ЛОКАЦІЙНОЇ КОСМІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ**

### **2.1 Основні поняття про рух штучного супутника Землі. Орбіти штучних супутників Землі**

Використання штучного супутника Землі (ШСЗ) для наукових і прикладних цілей припускає знання закономірностей його руху. Вибір параметрів орбіти дозволяє заздалегідь розрахувати тривалість існування супутника, а також спрогнозувати можливість спостереження за ШСЗ із Землі й огляду Землі із супутника. Нарешті, для географічної прив'язки всіх спостережень бажано складати каталоги координат супутника для послідовних моментів часу (його ефемериди), причому важливо мати ці каталоги вперед на тривалий час.

Шлях, описуваний супутником у просторі, називається *траєкторією*. Траєкторію супутника прийнято поділяти на характерні ділянки (рис.2.1):  $A_0M_0$  – ділянка виведення на орбіту;  $M_0M_K$  – ділянка орбітального польоту;  $M_KM_{\Pi}$  – ділянка входу в атмосферу, зниження і посадки.

Рух супутника стосовно Землі відбувається на ділянці орбітального польоту в орбітальній площині. Цей рух описується законом Кеплера.

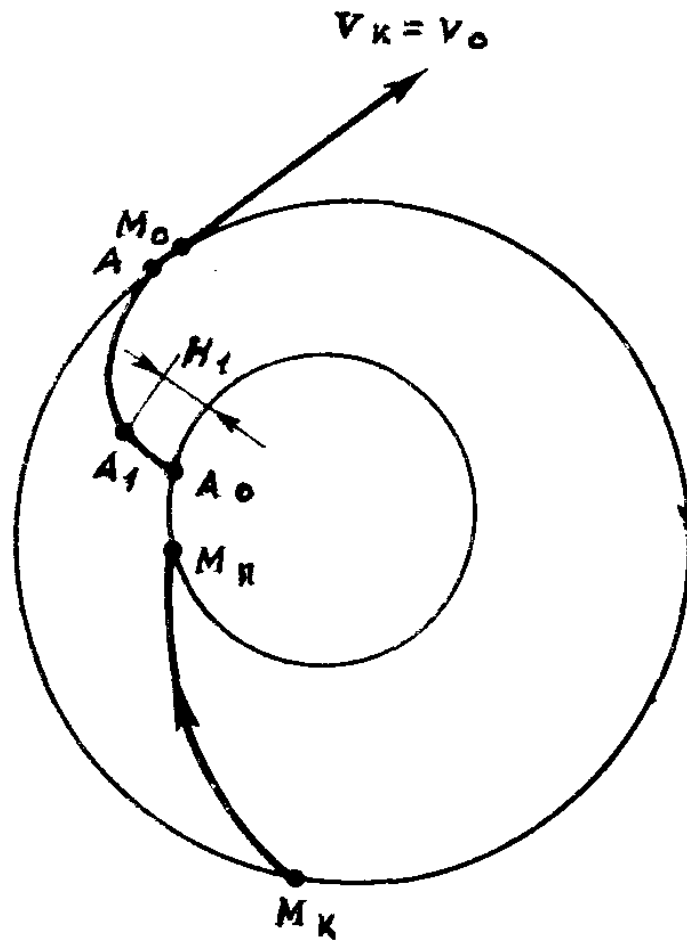


Рис.2.1 – Траєкторія космічного польоту

*Незбуреним кеплеровим рухом* називають такий рух матеріальної точки, що відбувається під дією тільки однієї центральної сили гравітаційного притягання, величина якого обернено пропорційна квадрату відстані до притягувального центру. Центральне притягувальне тіло розглядається як тіло сферичної структури. У цьому випадку його гравітаційне поле збігається з центральним полем притягувальної точки.

Однак на політ супутника роблять вплив *збурювальні фактори*, що викликають відхилення від кеплерівського руху. До цих факторів можна віднести додаткові сили притягання Землі, обумовлені її несферичністю, сили притягання Місяця, Сонця й інших планет, аеродинамічні й електромагнітні сили, світловий тиск і ін. Дія цих сил або постійна, або змінюється в міру переміщення супутника по орбіті. Перераховані сили називаються *постійно діючими збурювальними силами*.

Крім того, в орбітальному польоті ШСЗ може випробувати удари метеоритних тіл, притягання інших ШСЗ, короточасні гальмуючі чи прискорювальні імпульси при включенні бортових реактивних двигунів і т.п. Такі збурювальні сили називаються *миттєвими* чи *імпульсними*.

Постійно діючі й імпульсні збурювальні сили приводять до того, що параметри руху ШСЗ по орбіті відрізняються від параметрів, розрахованих по формулах кеплерівського руху. Відмінність дійсних параметрів від розрахункових прийнято називати збурюванням, а сам рух ШСЗ під дією хоча б однієї збурювальної сили - збуреним.

Усі збурювання поділяються на *вікові* і *періодичні*. Вікові збурювання безупинно змінюють елементи орбіти супутника пропорційно часу. Періодичними називаються такі збурювання, значення яких повторюються через визначений інтервал часу. Вони поділяються на *короткоперіодичні* і *довгоперіодичні*.

*Елементи орбіти ШСЗ.* Рух матеріальної точки по незбуреній кеплеровій орбіті буде однозначно визначено, якщо будуть задані *елементи орбіти*, а саме:

- ✓ параметри, що визначають розміри і форму орбіти;
- ✓ площа, у якій розташовується орбіта;
- ✓ параметри, що характеризують орієнтацію орбіти в цій площині;
- ✓ а також момент часу проходження точки, що рухається, через визначену точку орбіти (чи положення точки, що рухається, на орбіті в заданий момент часу).

Елементи вводяться для деякої системи координат, початок якої збігається з притягувальним центром, а осі зберігають незмінні напрямки в просторі так, щоб добове і річне обертання Землі викликали найменші зміни координат цієї площини. За основну площину приймають звичайно або площину екліптики визначеної епохи, або площину земного екватора, а вісь абсцис направляють у точку весняного рівнодення. Як точку відліку вибирають на екваторі точку Овна  $\Upsilon$ .

Нехай  $P_N P_S$  — вісь світу, щодо якої побудована небесна сфера, де показані екватор і точка Овна (рис.2.2). Проведемо через центр  $O$  сфери площину орбіти й у цій площині побудуємо еліптичну орбіту ШСЗ так, щоб один з її фокусів потрапив у точку  $O$ . Точки  $A_0$  и  $\Pi_0$  будуть відповідно апогеєм і перигеєм орбіти. Проекцією орбіти на небесну сферу з'явиться велике коло  $A \Pi$ , по якому площина орбіти перетинає сферу. Точки перетину цього кола з екватором і називаються вузлами орбіти – висхідним і спадним, а лінія – лінією вузлів. Апогей і

перигей проектується на сферу в точки А і П (апоцентр і перицентр), лінія АП зветься лінією апсид.

*Положення орбіти в просторі* задається двома елементами:

1. Нахилання (нахил) площини орбіти до основної площини – двограний кут між площиною орбіти і площиною екватора, відлічуваний від площини екватора проти ходу годинної стрілки для спостерігача, що знаходиться в точці висхідного вузла. Позначається звичайно через  $i$ , змінюється від  $0^\circ$  до  $180^\circ$ .

2. Довгота висхідного вузла  $\Omega$  – кут, розташований в екваторіальній площині і відлічуваний від напрямку на точку весняного рівнодення  $\gamma$  до лінії вузлів, тобто лінії перетинання площини орбіти з площиною екватора; висхідним вузлом орбіти називають точку, у якій тіло переходить з південної півкулі в північну; протилежна точка називається спадним вузлом. Довгота висхідного вузла змінюється від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

*Орієнтація еліпса в площині орбіти* визначається одним елементом:

3. Аргумент перигею або кутова відстань від вузла – кутова відстань перицентру, що позначається через  $\omega$ , є кут між лінією вузлів і лінією апсид; інакше кажучи, кут з вершиною в притягувальному центрі між напрямками на висхідний вузол і перицентр орбіти. Аргумент перигею змінюється в межах від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

*Характеристики еліпса орбіти* задаються двома елементами.

4. Велика піввісь орбіти  $a$ :

Розміри орбіти задаються значенням півосі еліпса, наприклад значенням його великої півосі  $a: a = 1/2 A_0P_0$ .

5. Ексцентриситет орбіти  $e: e = c/a$ .

*Часовий параметр орбіти* – один часовий параметр:

6. Момент  $t(t_0)$  проходження точки, що рухається, через перицентр (перигей) орбіти або через висхідний вузол.

Приведена система елементів орбіти – одна з можливих. Іноді замість моменту проходження через перицентр задають інший елемент – середню аномалію  $M_0$  в епоху  $t_0$  (звичайно  $t_0$  – початковий момент часу), замість великої півосі користаються фокальним параметром  $P$  и т.д.

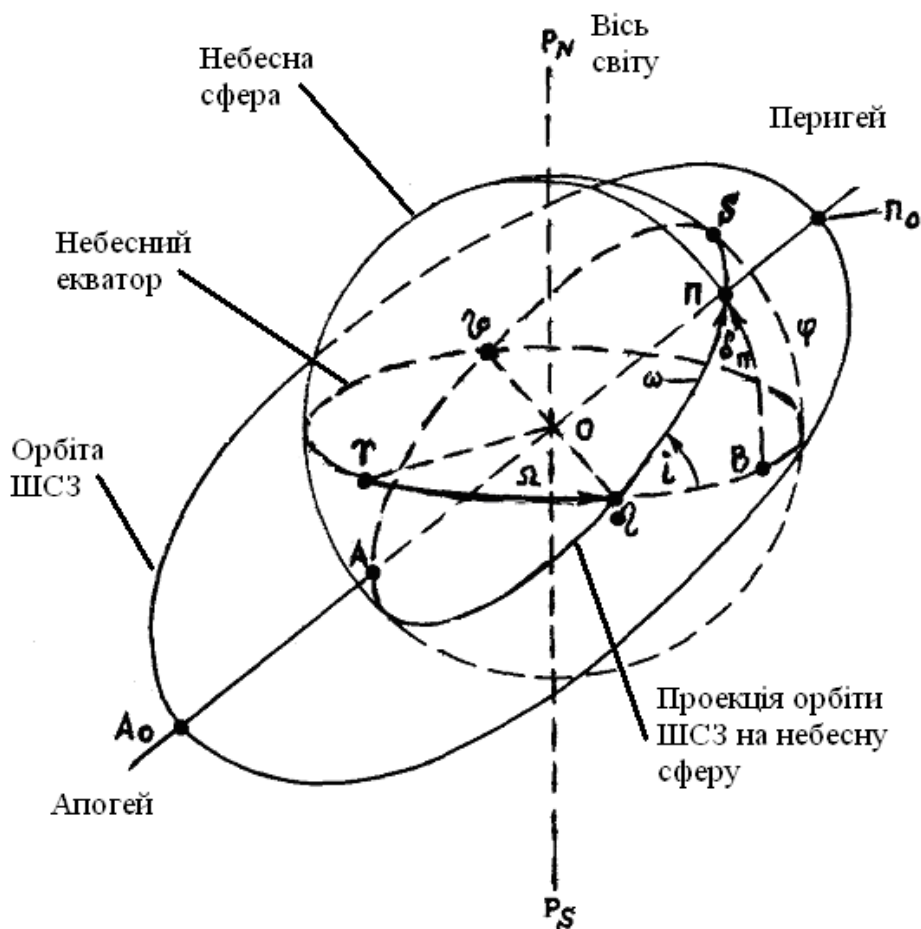


Рис.2.2 – Елементи орбіти супутника

*Орбіти ШСЗ.* Орбіти ШСЗ у залежності від значення їхніх параметрів можуть дуже розрізнятися між собою. Проте, існує кілька основних ознак, по яких орбіти розділяються на характерні типи. Як такі ознаки прийняті значення:

- ексцентриситету  $e$ ,
- нахилення орбіти  $i$ ,
- періоду обертання  $T$ ,
- висоти  $H$ .

Ексцентриситет  $e$  визначає форму орбіти:  $e = 0$  – кругова орбіта,  $e < 1$  – еліптична,  $e = 1$  – параболічна,  $e > 1$  – гіперболічна орбіта. Найбільший інтерес для космічних методів дослідження представляють кругові й еліптичні орбіти. Перші з них переважніше при запуску метеорологічних супутників.

У відповідності зі значенням нахилення орбіти супутники поділяються на *екваторіальні* ( $i = 0^0$ ), *похилі* ( $0^0 < i < 90^0$ ) і *полярні* чи *полярні* ( $i = 90^0$ ) (рис.2.3).



Екваторіальний супутник буде завжди пролітати над екватором. При висоті орбіти 35810 км період обертання ШСЗ зрівняється з зоряним періодом обороту Землі. Супутник буде обертатися з такою ж кутовою швидкістю, що і Земля, і, переміщуючись по орбіті в напрямку, що збігається з напрямком обертання Землі, буде увесь час знаходитися над тим самим наземним пунктом. Такий ШСЗ називається *стаціонарним*. Екваторіальні супутники спостерігаються в смузі, пов'язаною з екватором, причому, чим вище орбіта, тим ширше ця смуга.

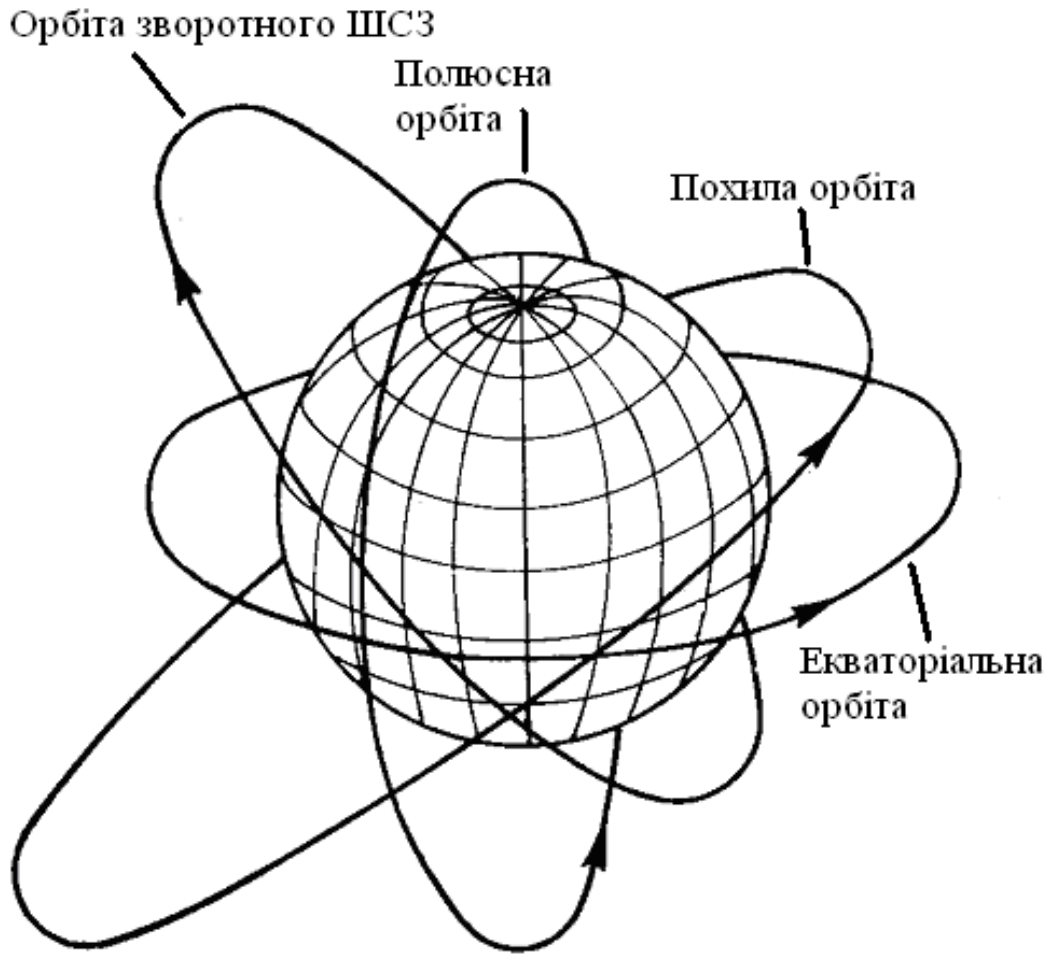


Рис.2.3 – Основні типи орбіт ШСЗ

Витки полюсного ШСЗ при кожному новому обороті через обертання Землі будуть *зміщатися до заходу*. Такі супутники будуть спостерігатися в будь-якому пункті земної поверхні в той чи інший час.

Похилі ШСЗ проєктуються на поверхню Землі тільки в межах широт  $\Delta\varphi = \pm i$ .

Усі ШСЗ можуть розділятися на *прямі* і *зворотні*. Прямі рухаються в напрямку обертання Землі з заходу на схід, для них  $0^0 \leq i \leq 90^0$ ; зворотні – зі сходу на захід і для них  $90^0 < i < 180^0$ .

Прямі супутники запускати легше, тому що при їхньому запуску на орбіту до швидкості ракети додається лінійна швидкість обертання Землі.

При запуску зворотних супутників лінійна швидкість обертання Землі віднімається зі швидкості ракети.

Штучні супутники Землі розділяються також на *періодичні* і *неперіодичні*. Період обертання перших кратний періоду обертання Землі. Через це положення супутника щодо поверхні Землі кожену добу повторюється. Неперіодичні супутники цією властивістю не володіють.

По висоті орбіти ШСЗ можуть бути розділені на три групи: *низькоорбітальні*, *середньоорбітальні* і *високоорбітальні*. У першу групу включені супутники, що запускаються на висоті 200 – 500 км. До них відносяться пілотовані космічні кораблі, орбітальні космічні станції, окремі супутники серії «Космос» і інші літальні апарати. Друга група представлена супутниками, що запускаються на висоті від 500 до декількох тисяч кілометрів. На цих висотах літають супутники метеорологічного, геодезичного, астрономічного призначення, а також інші ШСЗ. До третьої групи відносяться супутники з висотою польоту в десятки тисяч кілометрів. Ці висоти використовуються для запуску метеорологічних стаціонарних супутників, технологічних ШСЗ, місячних автоматичних і пілотованих космічних кораблів і інших апаратів.

*Орбіти метеорологічних ШСЗ.* Основна перевага метеорологічних спостережень із супутників складається з можливості одержувати інформацію про стан атмосфери для всієї (чи майже всієї) території земної кулі, а також здійснювати безупинне простежування процесів на визначених великих ділянках Землі.

Для метеорологічних супутників Землі (МСЗ) вибір орбіти має велике значення. У зв'язку з цим до орбіт МСЗ пред'являються визначені вимоги, основні з яких можуть бути зведені до наступного:

- ✓ забезпечення широкої смуги огляду із супутника;
- ✓ надання можливості одержання космічних знімків високого розрізняння;
- ✓ забезпечення необхідної для метеорологічних спостережень періодичності;
- ✓ одержання метеорологічних даних над конкретним географічним районом у визначений час.

Ці досить жорсткі вимоги можуть бути задоволені шляхом вибору висоти, форми і нахилення орбіти, а також шляхом визначення оптимального часу запуску МСЗ.

- Для максимального охоплення земної поверхні спостереженнями оглядовою апаратурою застосовуються *полярні орбіти*.
- Для одержання зображень над визначеним районом Землі в той же самий місцевий час, що залежить від часу запуску МСЗ, використовують так називані *сонячно-синхронні орбіти*, площина яких повертається (прецесує) синхронно з обертанням Землі навколо Сонця в східному напрямку зі швидкістю 0,986 градуса за добу. Орбітальна площина супутника повинна бути компланарна з напрямком Земля-Сонце. Необхідна швидкість прецесії забезпечується при запуску вибором відповідного кута нахилу орбіти до екватора. Ці розуміння лежать в основі вибору орбіт ряду метеорологічних супутників. Супутники, що знаходяться на *зворотних похилих сонячно-синхронних орбітах*, знаходяться над визначеною точкою земної поверхні в той самий місцевий час, значення якого залежить від часу запуску. Ці переваги є важливими при рішенні ряду метеорологічних задач за матеріалами супутникових спостережень.
- Велике значення при метеорологічних спостереженнях із МСЗ має *детальність спостережень*, тобто розрізнення необхідних деталей при заданій смузі огляду. Ця обставина визначає вибір висоти орбіти МСЗ. Зі збільшенням висоти польоту смуга огляду збільшується, а детальність спостережень погіршується. Тому при необхідності одержання підвищеної детальності спостережень (зображень) частіше використовуються середньоорбітальні МСЗ із висотою польоту 600 – 1500 км, для збору узагальненої інформації з великої площі звичайно використовуються супутники, що мають висоту орбіти  $H \approx 36000$  км.
- Для метеорологічних спостережень використовуються *кругові* чи близькі до них орбіти. Вони забезпечують спрощення географічної прив'язки, обробки й аналізу супутникової інформації.
- При виборі орбіт супутників враховується, що глобальні метеорологічні спостереження повинні виконуватися, принаймні, 2 рази в добу. Час запуску визначається таким чином, щоб забезпечити збір максимальної інформації над тим чи іншим районом, при цьому час намагаються зістикувати з термінами наземних спостережень з метою *синхронного спільного аналізу даних*.
- При запуску декількох супутників дуже важливо, щоб їхні *орбіти* були *взаємопов'язані*. Ця вимога дозволяє вирішити комплекс задач, зв'язаних із глобальними метеорологічними спостереженнями.

## **2.2 Фізичні основи одержання локаційної космічної інформації. Характеристика методів пасивного й активного дистанційного зондування. Типи супутникової апаратури**

*Дистанційне зондування навколишнього середовища* являє собою сукупність методів виміру параметрів фізичного стану підстильної поверхні і атмосфери за допомогою приладів, розташованих на деякій відстані від об'єктів дослідження. Дистанційні дослідження проводяться з різних вимірювальних платформ: МСЗ, літаків, аеростатів, суден, а також з поверхні Землі. На відміну від контактних (прямих) вимірів, коли вимірювальний пристрій знаходиться в безпосередній зіткненні з досліджуванним об'єктом середовища, прилади дистанційного (непрямого) зондування одержують інформацію про середовище шляхом виміру ефектів взаємодії з нею різних випромінювань. Стосовно до моніторингу найбільш важливим є взаємодія із середовищем електромагнітного випромінювання.

*Джерелом метеорологічної інформації* при спостереженні Землі з космосу є просторові, часові і кутові варіації інтенсивності електромагнітних хвиль, відбитих чи випромінених системою підстильна поверхня – атмосфера (СППА). Вимір характеристик поля електромагнітного випромінювання на різних довжинах хвиль  $\lambda$  є основою для оцінки параметрів фізичного стану атмосфери, океану, материкових покривів.

Для проведення спостережень за допомогою МСЗ можуть бути застосовані пристрої, що реєструють випромінювання в діапазоні довжин хвиль від 0,3 мкм до 1 м.

Цю широку ділянку спектру прийнято підрозділяти на ряд піддіапазонів:

0,3 – 0,4 мкм – ближній ультрафіолетовий (УФ),

0,4 – 0,76 мкм – видимий,

0,76 – 1,5 мкм – ближній інфрачервоний (ІЧ),

1,5 – 1000 мкм – середній і далекий ІЧ,

1 мм – 1 м – надвисокочастотний (НВЧ), називаний також мікрохвильовим (рис.2.4).

У залежності від природи електромагнітного випромінювання, що реєструється, дистанційне зондування Землі може здійснюватися *пасивними й активними методами*.

*Пасивні методи* засновані на вимірі характеристик поля власного теплового випромінювання досліджуваних об'єктів і (чи) відбитого ними сонячного випромінювання. Інтенсивність (яскравість) цього випромінювання є в загальному випадку функціоналом полів

температури, вологості, тиску, концентрації озону й інших малих газових складових атмосфери, водності і фазового складу хмар, параметрів опадів, вологості підстильної поверхні, характеристик рослинного, сніжного і крижаного покривів і т.д. і залежить від частоти, поляризації і кута візування.

За допомогою МСЗ можуть бути реалізовані *три методи пасивного дистанційного зондування*, засновані на вимірах:

- відбитої і розсіяної СППА сонячної радіації;
- власного теплового випромінювання СППА;
- прозорості атмосфери по природних джерелах випромінювання.

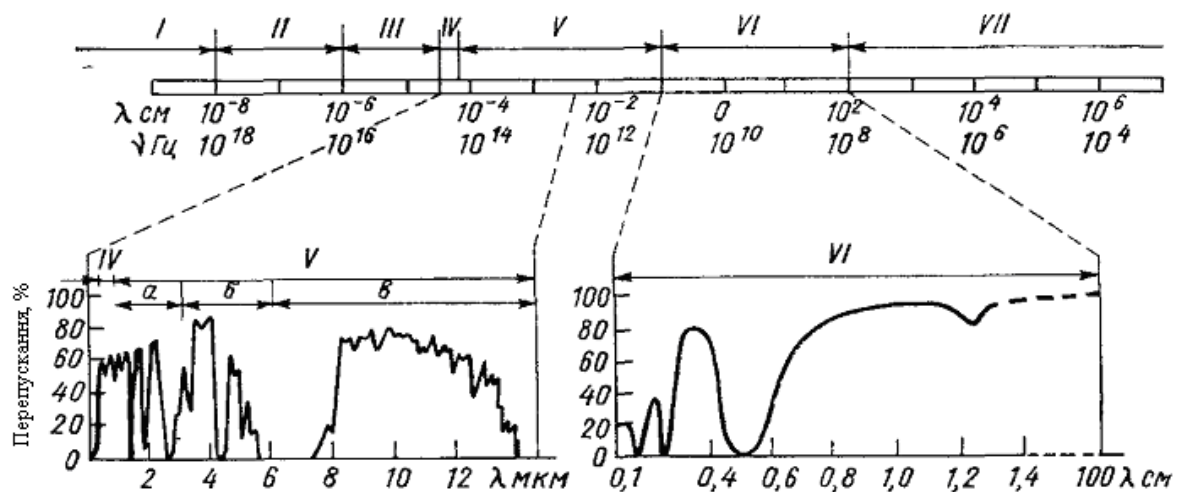


Рис.2.4 – Спектр електромагнітного випромінювання і спектр пропускання безхмарної стандартної атмосфери

Випромінювання: I – гамма, II – рентгенівське, III – УФ, IV – видиме, V – ІЧ (зони: а – ближня, б – середня, в – далека), VI – НВЧ, VII – радіо

Фізичною основою *першого методу* є залежність відбитого і розсіяного сонячного випромінювання від безлічі фізичних параметрів атмосфери і підстильної поверхні (геометричні розміри, водність і фазовий склад хмар, характеристики аерозолі, стан поверхні акваторій, рослинного, крижаного і сніжного покривів і т.д.).

Фізична основа *другого методу* пасивного зондування аналогічна першому, але тільки мова тут йде про залежність від гідрометеорологічних параметрів власного теплового випромінювання СППА. До перерахованих вище параметрів ще варто додати температуру – верхньої границі хмар, поверхні океану і материкових покривів, температуру повітря на різних висотах. Залежність оптичної щільності атмосфери від частоти приводить до того, що з частотою міняється відносний внесок різних шарів атмосфери (при зондуванні лімба – різних

ділянок на трасі зондування) в інтенсивність власного випромінювання, що реєструється на супутнику і що є основою для оцінки висотних профілів метеорологічних елементів.

*Третій метод* базується на використанні принципів абсорбційної спектроскопії і зв'язаний зі спектральними вимірами електромагнітного випромінювання від зовнішнього (природного чи штучного) джерела. Такі виміри дозволяють визначити усереднену оптичну характеристику атмосфери на трасі джерело випромінювання – прилад – її спектральну прозорість. Залежність спектральної прозорості атмосфери від параметрів атмосфери і складає фізичну основу цього методу.

При *активному зондуванні* (радіо– і лазерна локація) джерело випромінювання (передавач) розташоване на супутнику. Потужність, фаза, частота й інші характеристики відбитого (розсіяного) випромінювання, що генерується цим джерелом, також визначаються перерахованими вище параметрами атмосфери і підстильної поверхні. Власне випромінювання Землі і відбите сонячне випромінювання в цьому випадку будуть перешкодою.

*Активне зондування* за допомогою МСЗ може здійснюватися з використанням двох методів, заснованих на вимірах:

- відбитого і розсіяного СППА випромінювання від активного джерела;
- прозорості атмосфери.

В даний час більшість пристроїв для зондування Землі з космосу являють собою чуттєві приймачі випромінювання (пасивне зондування). Активні методи дистанційного зондування поки ще не знайшли широкого практичного застосування, що обумовлено головним чином великим енергоспоживанням радіолокаційних станцій (РЛС) і лідарів. Однак з ростом потужності бортових джерел живлення роль активних методів зондування СППА з космосу істотно зростає.

Можливості і фізико-технічні особливості дистанційного зондування Землі залежать від використовуваного діапазону довжин хвиль.

У видимому і ближньому ІЧ діапазонах джерелом інформації про параметри СППА є відбите сонячне випромінювання. Тому спостереження можуть здійснюватися на освітленій стороні планети. Однак активне лазерне зондування на цих довжинах хвиль передбачається виконувати переважно в нічні години, оскільки в цьому випадку відбите сонячне випромінювання є заважаючим чинником.

У ІЧ і НВЧ діапазонах довжин хвиль виміри можуть проводитися незалежно від часу доби.

Хмарність перешкоджає вивченню характеристик підхмарних шарів атмосфери і підстильної поверхні у видимій і ІЧ ділянках спектра. У НВЧ діапазоні хмарність – напівпрозоре середовище, що дозволяє за даними

дистанційних вимірів оцінювати як властивості земної поверхні, так і параметри самої хмарності.

У залежності від використовуваного діапазону міняється і *просторове розрізняння* приладів дистанційного зондування. За інших рівних умов найвище розрізняння досягнуте у видимому діапазоні довжин хвиль (десятки метрів – одиниці кілометрів), а найнижче – у НВЧ (десятки – сотні кілометрів). У ІЧ діапазоні розрізняння складає сотні метрів – кілометри.

При роботі в активному режимі високе розрізняння досягається в радіолокаційних станціях із синтезованою апертурою (РСА). РСА випромінює сигнали, частота яких підтримується з високою точністю (когерентні сигнали). Спеціальна обробка відбитих радіолокаційних сигналів дозволяє реалізувати при вимірах із супутників розрізняння у кілька десятків метрів.

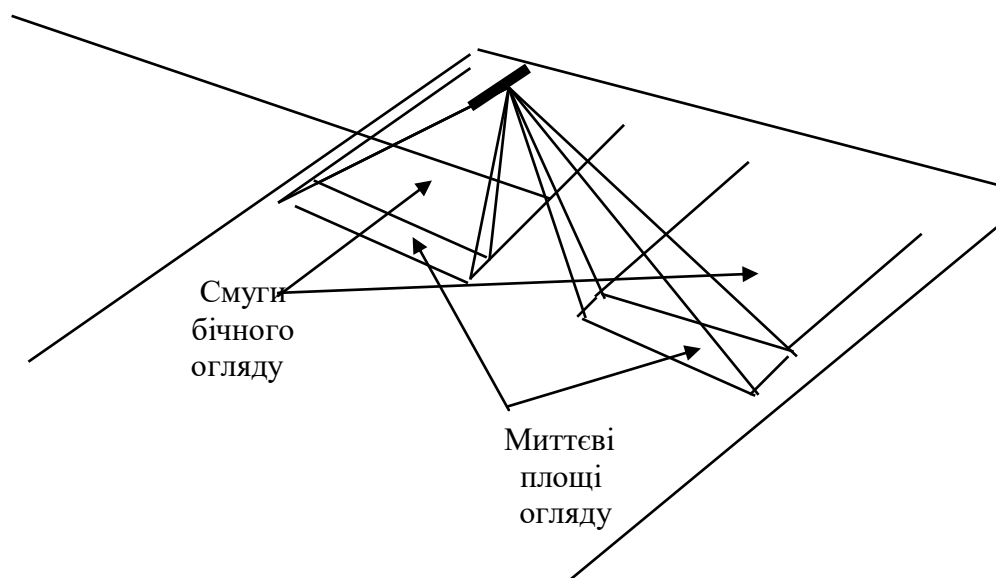


Рис. 2.5 – Принцип роботи РСА

Схематично огляд поверхні за допомогою РСА, установленної на літальному апараті показаний на рис. 2.5. По напрямку польоту ефективна довжина антени значно більше, ніж у вертикальному напрямку. Відповідно діаграма спрямованості антени в горизонтальній площині більш вузька, чим у вертикальній площині. На рис. 2.5 показана площа огляду, що відповідає миттєвому положенню літального апарата і смуги огляду, що утворяться в результаті його руху. Радіолокаційне зондування за допомогою РСА засновано на *голографічних* принципах у радіодіапазоні. *Голографією* називається метод реєстрації і наступного

відновлення фронту електромагнітної хвилі, що передбачає безупинну реєстрацію не тільки інтенсивності хвилі, а і форми хвильового фронту в цілому. Картина хвильового фронту може фіксуватися частинами (не миттєво, а зі зрушенням у часі), але відтворюється вона відразу, в один момент часу.

При рішенні різних задач дистанційного зондування великого значення набуває *ступінь ослаблення електромагнітного випромінювання середовищем*. Навіть під час відсутності хмарності й опадів атмосферні гази (насамперед, водяна пара, вуглекислий газ і озон) послабляють електромагнітне випромінювання, що поширюється в атмосфері. Це значно утрудняє зондування підстильної поверхні і нижніх шарів атмосфери з космосу. Ослаблення електромагнітного випромінювання атмосферою міняється по спектрі в дуже широких межах. Мінімальних значень воно досягає у видимому діапазоні довжин хвиль, у декількох вікнах прозорості атмосфери, розташованих у ближній і середній ІЧ ділянках спектра, а також у НВЧ діапазоні, за винятком областей резонансного поглинання водяної пари ( $\lambda \approx 1,64$  мм) і кисню ( $\lambda \approx 2,53$  мм і  $\lambda = 5 \dots 6$  мм).

Можливість одержання інформації не тільки про властивості підстильної поверхні але і про те, як вони міняються в ній із глибиною, залежить *від глибини* проникнення  $L$  електромагнітної хвилі в середовище. (Глибиною проникнення називається така глибина, на якій потужність сигналу слабшає в  $e$  раз.) Глибина проникнення визначається оптичними константами середовища, у якій поширюється хвиля. При наявності в середовищі часток, що розсіюють, значення  $L$  буде також залежати від властивостей цих часток.

Для хвиль видимого діапазону найбільші значення глибини проникнення характерні для льоду і води, де вони складають десятки сантиметрів – десятки метрів у залежності від  $\lambda$ . Величина  $L$  великою мірою залежить від наявності у воді фітопланктону, суспензій, різного виду забруднень. Глибина проникнення видимого світла в материкові покриви дуже мала.

У ІЧ діапазоні усе випромінювання формується в дуже тонкому поверхневому шарі.

Електромагнітні хвилі НВЧ діапазону сильно поглинаються водяною поверхнею; тут значення  $L$  варіюють від сотих часток до одиниць міліметра. У той же час у сухих ґрунтах, у материкових льодах, сухому снігу значення  $L$  можуть досягати декількох десятків значень  $\lambda$ , що, наприклад, для хвиль сантиметрового і міліметрового діапазонів складає одиниці – десятки метрів. Така велика глибина проникнення НВЧ випромінювання є основою для дистанційного вивчення властивостей



грунтів, гірських порід, крижаного і сніжного покривів до значної глибини.

*Наукова апаратура, що працює у видимому діапазоні електромагнітних хвиль.* Найбільше застосування в даний час знайшли знімки, виконані за допомогою телевізійних систем, установлених на супутниках. Для одержання зображень у видимій ділянці спектра (0,5–0,7 мкм) на супутниках встановлюється апаратура, за допомогою якої може бути виконана зйомка хмарності, крижаних і сніжних полів і інших видів підстильної поверхні. Ці об'єкти мають різні коефіцієнти відбиття, що дозволяє одержувати зображення із широким діапазоном півтонів.

При поелементній зйомці прийомний пристрій має малий кут зору. У кожен момент часу *телефотометр* реагує на середню інтенсивність радіації в межах кута зору оптичної голівки. Зображення ж усієї ділянки спостережуваного об'єкта формується шляхом послідовного перегляду його в процесі сканування.

Як приймачі променистої енергії застосовуються пристрої, засновані на *використанні явища фотоелектронного ефекту*. Такі пристрої придатні для телевізійного спостереження об'єктів в інфрачервоному, видимому, ультрафіолетовому діапазонах хвиль.

*Телевізійна система* відтворює розподіл яскравості, функціонально зв'язаної з загальною потужністю сприйманого променистого потоку в межах області спектральної чутливості перетворювача.

На виході первинного телевізійного перетворювача утвориться електричний сигнал, що залежить від потужності променистого вхідного потоку. Сигнал, що називається телевізійним відеосигналом, передається по каналу зв'язку до прийомного пристрою.

Для одержання зображень одночасно в декількох вузьких ділянках спектра використовується *багатозональна чи багатоспектральна апаратура*.

Звичайно робочі спектральні ділянки зйомки розташовуються в межах видимої й інфрачервоної ближньої області спектру (0,5–0,6; 0,6–0,7; 0,7–0,8; 0,8–1,1 мкм).

*Інфрачервона наукова апаратура.* В інфрачервоному діапазоні спектра працюють системи, що роблять виміри у визначених ділянках спектра чи в смугах поглинання окремих газів.

Для виявлення і простежування хмарності на тіньовій стороні Землі (а також на освітленій стороні) широке застосування одержали системи, що працюють у ділянці спектра 8–12 мкм.

Яскравість (тон) зображення якого-небудь об'єкта на ІЧ знімку визначається головним чином температурою випромінюючої поверхні. У цій ділянці спектра випромінена теплова радіація найбільш близька до власного теплового випромінювання земної поверхні і хмар.

При одержанні космічних зображень у цій області спектра використовується інфрачервона система, аналогічна системі, що працює у видимому діапазоні і називана *інфрачервоним радіометром*.

*Наукова апаратура, що працює в мікрохвильовому діапазоні спектра.* Наукова апаратура, що робить виміри в мікрохвильовій області спектра, охоплює міліметровий і сантиметровий ділянки радіодіапазону. Мікрохвильові виміри дозволяють одержувати інформацію про хмарність і опади, кількісно визначати вміст водяної пари і рідкокапельної води в атмосфері. Дані вимірів можуть бути представлені у виді окремих реєстрограм, просторово-часових графіків чи в окремих діапазонах, наприклад на довжині 0,8 см у виді напівтонового зображення. Виміри на супутниках виробляються найбільше часто в чотирьох каналах: 0,8; 1,35; 3,4 і 8,5 см.

### **Питання для самоконтролю**

1. Траєкторія супутника, її ділянки.
2. Незбурений рух супутника.
3. Сили, що збурюють рух супутника.
4. Елементи орбіти штучного супутника Землі.
5. Ознаки, за якими розділяються орбіти штучних супутників Землі.
6. Екваторіальні орбіти штучних супутників Землі.
7. Похилі орбіти штучних супутників Землі.
8. Полюсні орбіти штучних супутників Землі.
9. Прямі і зворотні орбіти штучних супутників Землі.
10. Орбіти метеорологічних штучних супутників Землі.
11. Дистанційне зондування довкілля.
12. Джерело гідрометеорологічної інформації при спостереженні Землі із космосу.
13. Діапазони електромагнітних хвиль для спостереження Землі із космосу.
14. Пасивні методи дистанційного зондування.
15. Активні методи дистанційного зондування.
16. РЛС з синтезованою апертурою антени.
17. Ступінь ослаблення електромагнітного випромінювання середовищем.
18. Глибина проникнення електромагнітних хвиль в середовище.
19. Наукова апаратура видимого діапазону електромагнітних хвиль.
20. Наукова апаратура інфрачервоного діапазону електромагнітних хвиль.
21. Наукова апаратура мікрохвильового діапазону спектру електромагнітних хвиль.

### **3 ФОРМИ ПРЕДСТАВЛЕННЯ КОСМІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ І ЇЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЯ**

#### **3.1 Основні види космічної гідрометеорологічної інформації і вимоги, що надаються до неї**

Основними видами космічної гідрометеорологічної інформації (КГМІ), що надходить з метеорологічних супутників, є космічні зображення Землі і дані радіаційних вимірів.

*Основні вимоги до КГМІ.* В даний час в основу прогнозу погоди покладена поширена ГМІ, одержувана за допомогою численних методів спостережень і вимірів на різних висотах над Землею. Особливе місце в сукупності ГМІ, що надходить для аналізу в гідрометцентри, займає наукова інформація, передана із супутників. Знімки, отримані в різних областях спектра електромагнітних хвиль, і радіаційні карти істотно доповнюють відомості про погоду, особливо в районах, мало освітлених у метеорологічному відношенні. Внесок космічної інформації стає істотним при аналізі синоптичного положення, особливо при спільному використанні даних наземних і аерологічних спостережень, отриманих у єдиний момент часу для великого географічного району.

Комплексний аналіз усієї КГМІ обумовлений визначеними вимогами до неї, що забезпечують можливість подальшого використання:

- глобальність,
- тривимірність,
- комплексність,
- синхронність,
- регулярність,
- оперативність,
- розрізняння даних на місцевості,
- смуга захоплення (огляду) наукової апаратури,
- точність, з якою може бути визначений відповідний метеорологічний елемент.

Усі вимоги до метеорологічних даних повинні виконуватися в сукупності, тому що порушення хоча б одного з них значно знецінює всю інформацію, що надійшла.

Вимога *глобальності* наукової КГМІ може бути задоволена декількома шляхами:

- 1) збором даних за допомогою системи геостаціонарних супутників;
- 2) спостереженням і збором даних метеорологічною космічною системою;

3) використанням запам'ятовуючих пристроїв, що мають на борті супутника, і скиданням інформації на пункті прийому інформації (ППІ), тобто роботою наукової апаратури в режимі запам'ятовування інформації (ЗІ).

Просторове представлення про розподіл ГМ даних дуже важливо при аналізі синоптичного положення. Питання *тривимірності* вимірів не цілком задовольняють сучасні вимоги. Якщо по площі виміру із супутників мають визначені успіхи, то рішення задачі відновлення вертикальних профілів різних метеовеличин вимагає удосконалювання методик відновлення цих даних.

*Комплексність* супутникових вимірів забезпечується установкою на борті супутників різних видів наукової апаратури, а також використанням сукупності засобів спостережень і збору даних сучасними авіаційними, наземними і космічними системами.

Знімання інформації в єдиний фізичний момент часу – одне з найважливіших вимог до КГМІ, тому *синхронність* знімання інформації забезпечується в першу чергу вибором орбіт оперативних метеорологічних супутників. Велике значення для задоволення цієї вимоги має визначення кута нахилу орбіти супутника, зокрема, використання сонячно-синхронної орбіти. Використання в складі метеорологічних космічних систем декількох супутників, що передають інформацію в режимі безпосередньої передачі, спрощує рішення питання синхронності спостережень у терміни, прийняті на синоптичній мережі. Дослідження показують, що невеликі відхилення в часі, зв'язані з використанням даних навіть тільки з одного супутника Землі, виявляються порівнянними з часом старіння даних наземних і аерологічних спостережень.

*Регулярність* спостережень із супутника забезпечується бортовою системою керування роботою наукової апаратури. Вона визначається заданою програмою вимірів і контролюється різними наземними пристроями. Режими роботи супутникової апаратури (безпосереднього прийому – БП і запам'ятовування інформації – ЗІ) цілком забезпечують цю вимогу.

*Оперативність* одержання КГМІ зв'язана з особливістю вимірів і поширення супутникових даних. З огляду на широке використання бортових і наземних електронно-обчислювальних комплексів для початкової обробки метеорологічних космічних даних, можна розраховувати на визначені перспективи підвищення оперативності доведення наукової інформації до споживача.

Вимоги до *розрізняння* КГМІ визначаються задачами, що ставляться перед аналізом знімка чи даних радіаційних вимірів. В окремих випадках для прогнозу досить мати оглядові зображення з малим розрізнянням, а в

деяких випадках пропонованим вимогам будуть відповідати тільки детальні знімки з великим розрізненням.

Вимоги до *смуги огляду* супутникової апаратури визначаються вибором оптимальної висоти орбіти, її типом і технічними характеристиками знімальної апаратури супутника. У цілому сучасна апаратура супутника забезпечує виконання цієї вимоги.

*Точність вимірів* ГМ величин у значній мірі залежить від технічних можливостей бортової апаратури, від досконалості методів розрахунку цих величин по методиках рішення зворотних задач. Ця вимога тісно зв'язана з практичним розв'язанням питання про тривимірність вимірів. Для більшості гідрометеорологічних величин досягнута точність виміру і розрізняючої здатності не завжди відповідають основним вимогам. Розв'язання даної проблеми в першу чергу зв'язано з удосконалюванням апаратури, а також з подальшим розвитком космічних систем.

### 3.2 Космічні знімки

Космічна зйомка Землі охоплює широкий спектр її електромагнітного випромінювання. Знімки, отримані в різних діапазонах хвиль (видимому, інфрачервоному і мікрохвильовому), є одним з основних видів наукової інформації про стан підстильної поверхні, про атмосферу Землі і її об'єктів.

Масштаб зображення знімка залежить від ряду характеристик, зокрема, від параметрів орбіти, висоти польоту супутника, кута сканування, виду траєкторії носія, закону зміни швидкості переміщення візирного променя по рядку і кутових елементах орієнтування скануючого пристрою.

Масштаб космічного знімка по рядку сканування внаслідок кривизни Землі непостійний. Так, наприклад, на знімку, отриманому у видимому діапазоні із супутника «Метеор» ( $H = 900\text{ км}$ ), він змінюється від  $1 : 10345000$  у районі підсупутникової точки до  $1 : 11427000$  на краю знімка. Масштаб знімка в подовжньому напрямку, на відміну від масштабу по рядку сканування, порівняно постійний.

Розглянуті залежності характерні тільки для неспотвореного знімка. При космічній зйомці із супутника завжди мають місце спотворення. Вони обумовлені недосконалістю оптичної й електронної частин приймально-передавального тракту і випадкових змін елементів зовнішнього орієнтування.

*Зображення, отримані у видимій ділянці спектра.* Вони є одним з найважливіших видів інформації. Зйомка здійснюється оптико-механічною скануючою апаратурою над освітленою територією Землі і

має підвищену інформативність (рис.3.1). Для збору і поширення використовуються дві схеми: централізована й автономна.

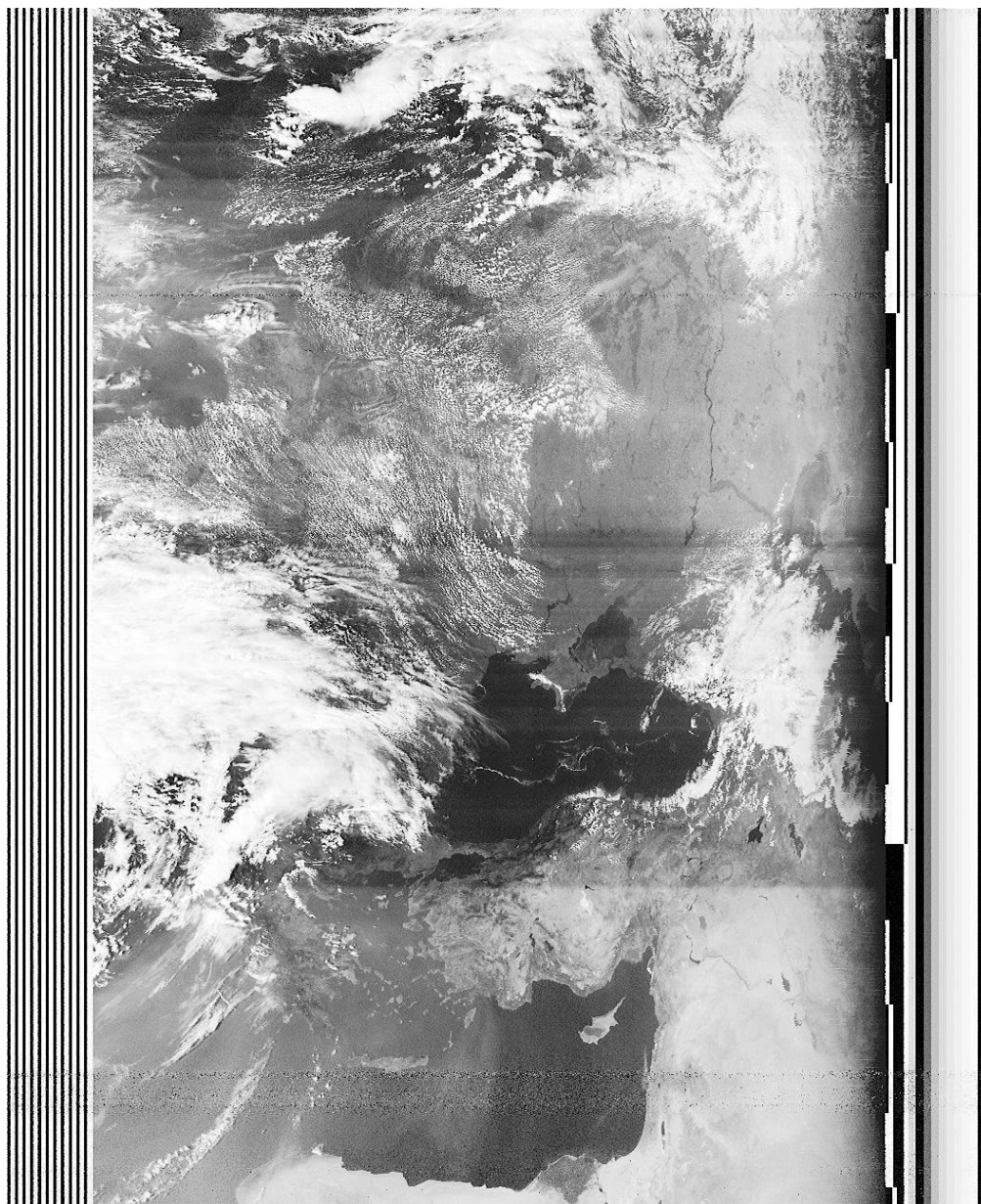


Рис.3.1 – Зображення, отримане у видимому діапазоні хвиль із супутника «Метеор»

У режимі безпосередньої передачі скануючий телефотометр, установлений на супутнику «Метеор», забезпечує одержання знімка з оглядом на місцевості 2100 км і розрізненням 2 км у надирі. Масштаби зображень по рядку  $1:11 \cdot 10^6$ , по кадру  $1:12 \cdot 10^6$ .

Знімки, отримані за допомогою п'ятиканального скануючого радіометра високого розрізнення, установленого на супутнику NOAA,

мають захоплення на місцевості 3000 км і розрізняння 4 км по всьому полю знімка. Масштаби зображень по рядку  $1:30 \cdot 10^6$ , по кадру  $1:25 \cdot 10^6$ .

Зображення, отримані з геостаціонарних супутників серії ГОЕС у режимі безпосередньої передачі, мають розрізняння на місцевості близько 9x9 км. Знімок з одного супутника забезпечує зображення 30 % площі Землі.

Характеристики знімків, отриманих із супутників у режимі *запам'ятовування*, трохи відмінні від знімків у режимі безпосередньої передачі. Так, знімки, виконані із супутника «Метеор-2», мають смугу огляду на місцевості 2400 км і розрізняння 1 км у надирі. Особливістю цих знімків є наявність на них координатної сітки.

Знімки супутників NOAA, що надходять у централізованому режимі збору інформації, мають більшу розрізняльну здатність, ніж знімки, отримані в режимі безпосередньої передачі. Розрізняння на місцевості при плановій зйомці із супутників серії NOAA дорівнює 1,1x1,1 км, загальна ширина смуги захоплення на місцевості в цьому випадку дорівнює 3300 км.

*Зображення, одержувані в ІЧ ділянці спектра.* Інфрачервоні знімки являють собою візуалізовану форму теплових контрастів об'єкта. При реєстрації ІЧ інформації перетворення відеосигналу в зображення виробляється так, щоб більш світлі ділянки знімка відповідали об'єктам з більш низькою радіаційною температурою, а більш темні ділянки — об'єктам з більш високою температурою (рис. 3.2).

Чутливість інфрачервоних систем до теплових контрастів і визначає ряд характеристик інфрачервоних зображень. Отримані ІЧ знімки, як правило, мають меншу розрізняльну здатність на місцевості в порівнянні з зображеннями видимого діапазону, а, отже, мають і меншу інформативність. Однак можливість одержання знімків у світлий і темний час доби робить цю інформацію основною при використанні її в синоптичному аналізі.

Знімки надходять у централізованому чи автономному режимі. Зйомка здійснюється за допомогою скануючої апаратури, тобто поелементно.

Одержання безупинного зображення уздовж усього витка істотно полегшує процес подальшої обробки знімків. На полях фотоплівки поруч із зображенням у виді темних і світлих рисок, рівнобіжних рядкам сканування, фіксуються в двійковому коді хвилинні мітки часу. У режимі безпосередньої передачі локалізація знімка здійснюється за часом прийому зображення і відомостям, отриманим зі спеціальних телеграм, переданих національними службами погоди.

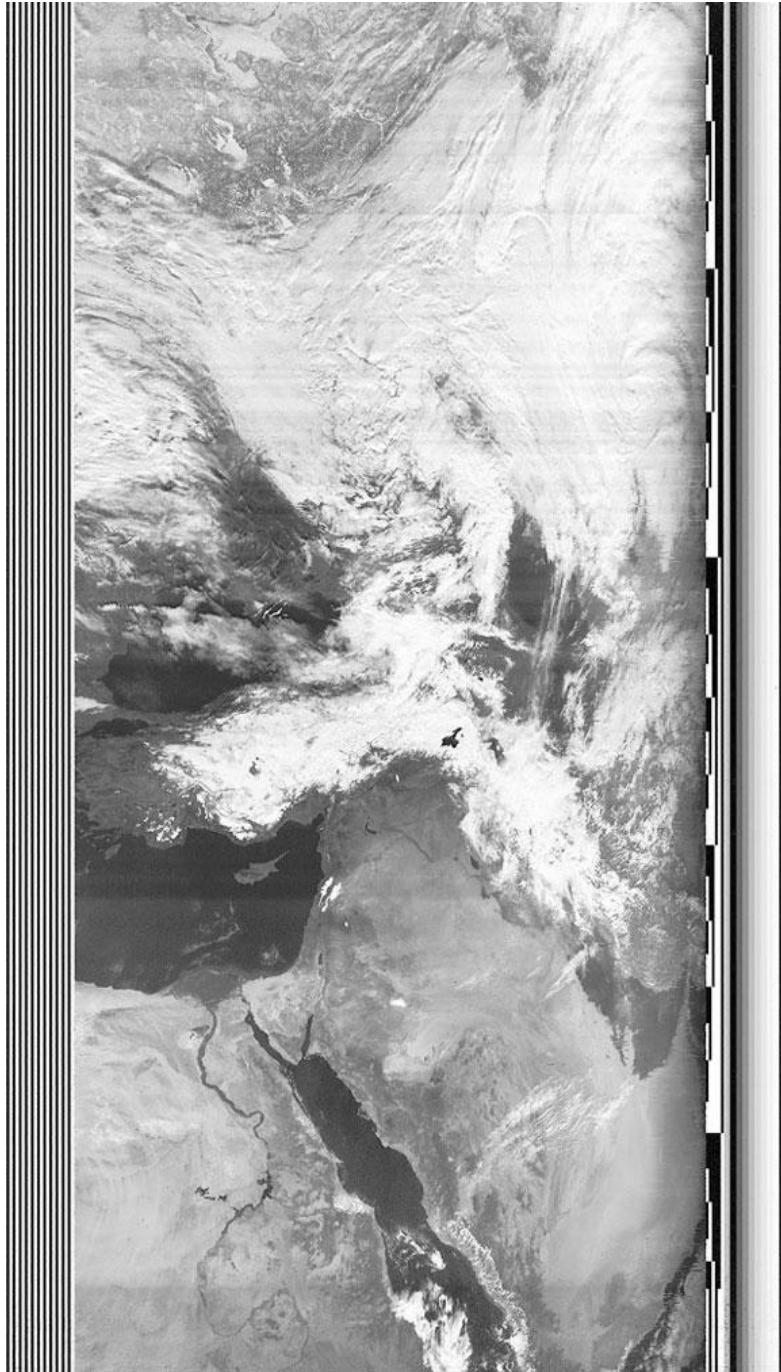


Рис.3.2 – Зображення, отримане в ІЧ діапазоні хвиль із супутника «Ресурс»

Скануючий інфрачервоний радіометр супутника «Метеор» забезпечує одержання знімка з захопленням на місцевості 2600 км і розрізнянням 8 км у надирі. Масштаби реєструємих зображень по рядку від  $1:11,5 \cdot 10^6$  у центрі до  $1:48 \cdot 10^6$  на краях, по кадру  $1:19,5 \cdot 10^6$ .

Інфрачервоні знімки, отримані із супутника NOAA, мають такі ж характеристики, як і оптичні знімки, отримані з цього супутника в режимі



БП, тобто захоплення на місцевості 3000 км і розрізняння 4 км по всьому полю. Масштаби зображень по рядку  $1:15 \cdot 10^6$ , по кадру  $1:12,5 \cdot 10^6$ .

Космічні ІЧ знімки, одержувані з геостаціонарних супутників серії ГОЕС, мають розрізняння 9,0x9,0 км і передаються в режимі безпосередньої передачі.

В основі багатоспектральної (багатозональної) зйомки лежить одержання ряду роздільних зображень у вузьких ділянках спектра того самого об'єкта (рис.3.3). Багатоспектральна зйомка є в даний час найбільш перспективним методом у вивченні Землі і надзвичайних ситуацій з космосу. Особливістю зображень, одержуваних у декількох спектральних інтервалах, є повнота інформації і достовірність, що забезпечується вибором спектральних ділянок і високою розрізняльною здатністю знімальної апаратури.

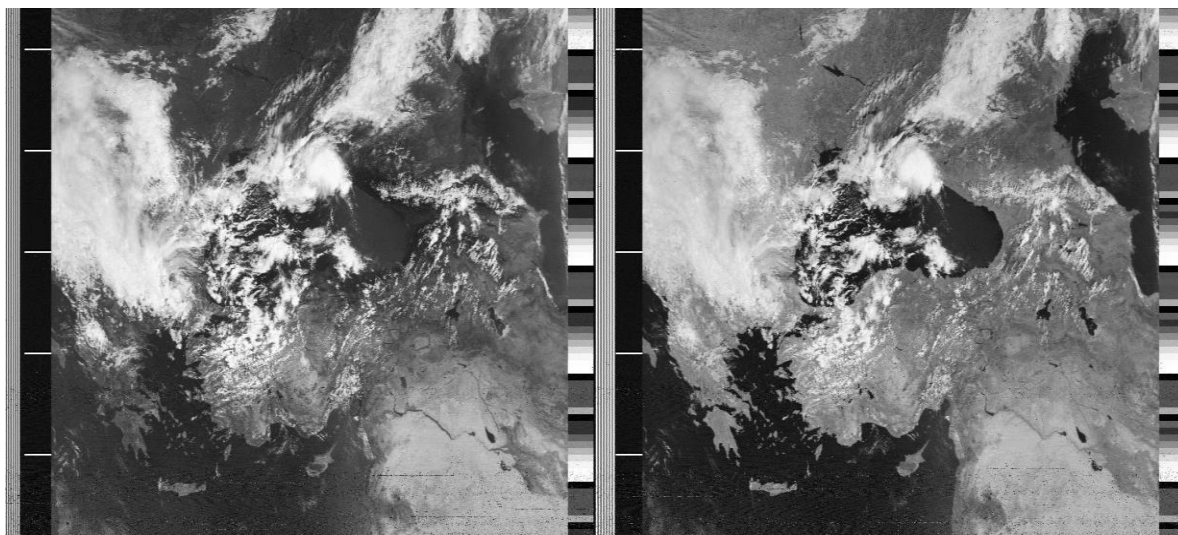


Рис.3.3 – ІЧ знімок із супутника NOAA-17 однієї і тієї ж ділянки земної поверхні в двох спектральних діапазонах

Чотириканальний оптико-механічний скануючий пристрій малого розрізняння МСЗ «Метеор» дає можливість одержати знімок із захопленням на місцевості 2000 км і розрізнянням у надирі 1,0x1,7 км. Двоканальний оптико-механічний пристрій середнього розрізняння, установлений на цьому ж супутнику, забезпечує менше захоплення на місцевості – 1400 км при розрізнянні знімку в надирі 0,28x0,28 км.

Масштаб зображень чотириканального пристрою малого розрізняння супутника «Метеор»  $1:11 \cdot 10^6$  по рядку і  $1:13 \cdot 10^6$  по кадру. Пристрій середнього розрізняння цього супутника забезпечує одержання знімка в масштабі  $1:3 \cdot 10^6$ .

Багатоспектральна скануюча система, використовувана на супутниках «Лендсат», має просторове розрізнення 70–100 м і ширину огляду близько 185 км.

*Зображення, одержувані в мікрохвильовій ділянці спектра.* Напівтонові чи псевдокольорові зображення, сформовані з поля радіояскравих температур, являють собою візуалізовану форму теплових контрастів об'єкта (рис.3.4). Виміри мікрохвильового випромінювання можуть вироблятися в різних режимах: виміру в надир і виміри в режимі сканування. На супутнику «Метеор» виміри поля радіояскравих температур здійснюються в діапазоні 0,8 см. Реєстрація здійснюється в режимі сканування по дузі під кутом 40° до надира.

По зовнішньому вигляду мікрохвильові зображення схожі на інфрачервоні знімки з малим розрізненням. Вони також являють собою безупинну смугу огляду уздовж проекції орбіти супутника. Ширина смуги огляду 700 км, розрізнення знімка на місцевості 15x20 км. Важливою відмітною рисою мікрохвильових зображень є зображення материків (суші) яскраво-білим тоном без півтонів (за винятком Антарктиди) з чітко обкресленою береговою лінією, добре видимої крізь хмари.

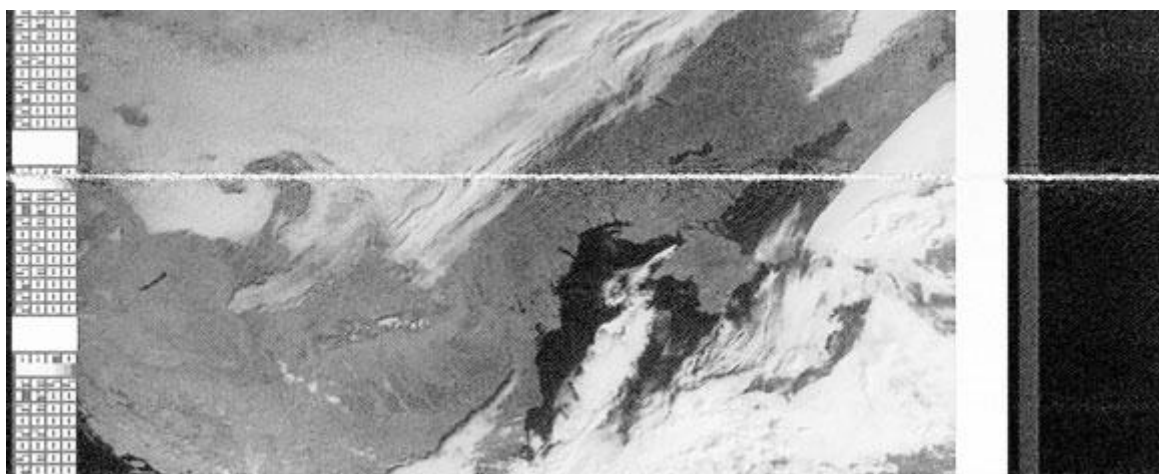


Рис.3.4 – Зображення, отримане в мікрохвильовій ділянці спектра (0,8см) із супутника «Січ»

### 3.3 Радіаційні, спектрометричні і мікрохвильові дані

*Радіаційні дані.* Радіаційні виміри виробляються в довгохвильовому вікні прозорості 8–12 мкм. Виміри інфрачервоного випромінювання за допомогою скануючого ПЧ радіометра, установлюваного на супутнику

«Метеор», дозволяють одержати поле радіаційних температур підстильної поверхні і дані, необхідні для розрахунку верхньої границі хмар.

Ширина смуги огляду отриманих радіаційних карт і розрізнення на місцевості такі ж, як і в інфрачервоних зображеннях. Це порозумівається використанням однієї і тієї ж апаратури для зйомки – ІЧ радіометра.

Цифрові карти радіаційної температури підстильної поверхні і висоти верхньої границі хмар випускаються в масштабі  $1:3 \cdot 10^7$ . Дані на цих картах нанесені у вузлах регулярної сітки з кроком 250 км. Для північної і південної півкуль використовується стереографічна проекція, а для тропічної зони – меркаторська проекція карти.

*Спектрометричні дані.* Спектрометричні виміри дозволяють одержати в глобальному масштабі відомості про вертикальний розподіл температури і вологості повітря, озону й ін. Найбільш широке застосування одержали виміри в смугах поглинання вуглекислого газу 4,3 і 15,0 мкм. Дифракційні спектрометри, що працюють у смугах поглинання  $\text{CO}_2$ , можуть мати від 4 до 30 каналів вимірів, що практично забезпечує відновлення вертикального профілю температури до досить великих висот. Для одержання даних про розподіл вологості в атмосфері використовуються спектрометричні виміри в смугах 6,5–7,0 і 20–23 мкм. Спектральні виміри випромінювання, що іде, у діапазоні хвиль 6–20 мкм дозволяють відновити вертикальний профіль озону (до висоти 25 км) і водяної пари (до висоти 9 км). Результати спектрометричних вимірів у різних смугах поглинання (ділянках спектра) можуть бути представлені у виді таблиць чи карт. Спектрометричні виміри із супутника забезпечують точність виміру випромінювання, що іде, до 0,5–1,0%. При виробництві спектрометричних вимірів апаратура звичайно має каліброване еталонне джерело випромінювання. Калібрування вимірювальної апаратури дає можливість установити зв'язок між інтенсивністю радіації і вихідним сигналом радіометра і визначити середню квадратичну помилку вимірів. Значення середньої квадратичної помилки для подібних вимірів при відсутності хмарності близько  $2^\circ\text{C}$ , при наявності ж хмар вона трохи більше.

Методи обробки спектрометричних даних передбачають широке використання електронно-обчислювальної техніки. Первинна обробка, географічна і часова прив'язка інформації виконуються по заздалегідь розроблених схемах.

На супутниках серії «Метеор» може встановлюватися спектрометр-інтерферометр (СІ апаратура). Апаратура має кілька каналів вимірів у діапазоні 6,25–25,0 мкм. Розрізнявальна здатність її  $36 \times 40$  км. Дані, отримані в цьому діапазоні хвиль, використовуються для побудови

вертикальних профілів температури і визначення вмісту водяної пари й озону в атмосфері.

*Мікрохвильові дані.* Для виробництва вимірів на супутниках установлюються триканальні мікрохвильові радіометри (НВЧ апаратура). Багатоканальні виміри в надирі ( $\lambda = 0,8; 1,35; 8,5$  см) можуть вироблятися окремо чи одночасно з вимірами ІЧ випромінювання у вікні прозорості атмосфери 8–12 мкм.

Мікрохвильова інформація може бути представлена для аналізу у виді реєстрограми (профілю), просторово-часового графіка і цифрової карти поля радіояскравісних температур. Характеристики цієї інформації залежать від способу виміру, використовуваного на конкретному супутнику. Так, при вимірі в режимі сканування інтенсивності мікрохвильового випромінювання системи Земля-атмосфера на  $\lambda = 0,8$  см при висоті польоту супутника  $H = 600$  км ширина смуги огляду близько 700 км при розрізнявальній здатності радіометра на місцевості 15x20 км. При поляризаційних вимірах у каналі випромінювання  $\lambda = 0,8$  см смуга огляду на місцевості близько 1000 км і розрізнявання даних 24x30 км.

Якщо виміри виробляються в надир для каналів  $\lambda = 1,35$  і 8,5 см, розрізнявання відповідно 90x90 і 100x100 км. Отримана в мікрохвильовому діапазоні інформація дозволяє одержати зведення про вологовміст в атмосфері, про просторовий розподіл зон опадів і їхньої інтенсивності, про інтегральну водність хмар, положення границь крижаного покриву і його згуртованості.

### **Питання для самоконтролю**

1. Основні види космічної гідрометеорологічної інформації.
2. Основні вимоги до космічної гідрометеорологічної інформації.
3. Космічні знімки.
4. Зображення у видимій ділянці спектру, їх характеристики.
5. Зображення у інфрачервоній ділянці спектру, їх характеристики.
6. Зображення у мікрохвильовій ділянці спектру, їх характеристики.
7. Радіаційні дані.
8. Спектрометричні дані.
9. Мікрохвильові дані.

#### 4 ХАРАКТЕРИСТИКА НАУКОВОЇ АПАРАТУРИ КОСМІЧНОГО АПАРАТА «СІЧ»

Космічний апарат «Січ» (рис.4.1) призначений для одержання оперативної інформації про Землю в оптичному, інфрачервоному і мікрохвильовому діапазонах спектра. Він оснащений комплексом апаратури малого розрізняння (оптичної - багатозональним скануючим пристроєм малого розрізняння МСУ-М, радіолокаційною станцією бічного огляду - РЛСБО і скануючим НВЧ-радіометром – РМ-0,8), що працює в режимі сполученого кадру й забезпечує глобальні всепогодні спостереження морських і материкових льодів, приводного вітру, атмосферних фронтів, великих нафтових забруднень і ін.



Рис. 4.1 – Зовнішній вигляд космічного апарата «СІЧ»

Крім того, на супутнику встановлена апаратура МТВЗА-ОК для комплексного огляду у видимому, інфрачервоному і НВЧ діапазонах спектра із широкою смугою огляду 2000 км, що забезпечує глобальний характер спостережень. На супутник установлені також два удосконалені комплекти багатозональної оптичної апаратури високого розрізнення МСУ-ЭУ1 і МСУ-ЭУ2.

Розглянемо комплекс апаратури малого розрізнення, що передає інформацію на частоті 137,4 МГц (режим АРТ) (табл.4.1, 4.2, 4.3).

Таблиця 4.1 – Характеристики багатозонального скануючого пристрою малого розрізнення МСУ-М

Характеристика	Величина
Лінійне розрізнення (поперек і уздовж напрямку польоту відповідно) у центрі рядка, не гірше, км x км	2 x 2
Смуга огляду, не менш, км	1900
Спектральні характеристики каналів, мкм	
1 канал	0,5 - 0,6
2 канал	0,6 - 0,7
3 канал	0,7 - 0,8
4 канал	0,8 - 1,1
Геометрія огляду	Сканування здійснюється в площині, перпендикулярної до напрямку польоту КА
Мінімально припустима висота Сонця, град.	5
Загальний ресурс роботи, година	1500
Максимальна тривалість роботи	
у режимі БП	12 хв
у режимі ЗІ	6 хв
Режим настроювання: вибір коефіцієнтів підсилення сигналу	Урахування типу підстильної поверхні і висоти Сонця
Режими роботи: режим передачі даних (по 137 МГц) формат передачі кадру	БП чи ЗІ-ВІ автономний МСУ-М чи сполучений кадр із РФА

Таблиця 4.2 – Характеристики радіолокаційної станції бічного огляду РЛСБО

Характеристика	Величина
Лінійний розрізнення (поперек і уздовж напрямку польоту), км x км: у смузі огляду 450 км у смузі огляду 700 км (АР РЛСБО): цифровий вихід аналоговий вихід	2,5 x 1,3 2,8 x 1,3 4,6 x 2,6
Смуга огляду, не менш, км	450 чи 700
Робоча довжина хвилі, см	3
Гранична чутливість прийомного пристрою, дБ Вт	-144
Відстань від підсупутникової траси до країв смуги огляду, км	
ближньої зони	
для смуг огляду 450 і 700 км	238
далекої зони	
для смуги огляду 450 км	688
для смуги огляду 700 км	938

Таблиця 4.3 – Характеристики скануючого НВЧ-радіометра (РМ-0,8)

Характеристика	Величина
Лінійний розрізнення (поперек і уздовж напрямку польоту відповідно), км x км	25 x 25
Смуга огляду, не менш, км	550
Робоча довжина хвилі, см	0,8
Флуктуаційна чутливість, К	1,8
Робоча стала часу, мс	9,2
Діапазон вимірюваних температур, К	
перший	110-330
другий	150-250
Відстань від підсупутникової траси до країв смуги огляду, км	
ближньої зони	238
далекої зони	788

Апаратура РЛСБО, РМ-0,8 і МСУ-М можуть забезпечувати синхронну зйомку території в режимі так названого сполученого кадру. При формуванні сполученого кадру результати вимірів РЛСБО, РМ-0,8 і МСУ-М передаються в одному рядку, що дозволяє розмістити на одному кадрі інформацію, одержувану РЛСБО, РМ-0,8 і МСУ-М.

Одержувану інформацію можна використовувати для:

1. Задач гідрометеорологічного забезпечення
  - Визначення меж і розмірів хмарних і атмосферних фронтальних зон;
  - Визначення зони опадів і їхньої інтенсивності;
  - Контролю зародження й еволюції циклонів;
  - Контролю стану моря, виділення зон штормів;
  - Визначення швидкості і напрямку приводного вітру;
  - Побудови вертикальних профілів температури і вологості атмосфери, загального змісту аерозолю й озону;
  - Вологовмісту хмар;
  - Радіаційного балансу Землі;
  - Визначення температури верхнього шару хмар;
  - Визначення температури морської поверхні і поверхні суші;
  - Визначення висоти і напрямку хвиль;
  - Визначення характеристик льодового і снігового покриву.
2. Прикладних задач:
  - Класифікації поверхні по класах: хмарність, земля, вода, сніг, лід;
  - Визначення вегетаційного індексу;
  - Визначення положення, розмірів і характеристик хмарних структур;
  - Контролю тропічних циклонів, штормів, виділення атмосферних фронтів, зон опадів;
  - Картування теплових аномалій на поверхні суші;
  - Класифікації по видах лісової і сільськогосподарської рослинності і динаміки їхньої зміни;
  - Класифікації селітебних зон і динаміки їхньої зміни;
  - Класифікації поверхневих вод і динаміки їхньої зміни.

### **Питання для самоконтролю**

1. Призначення космічного апарата “Січ”.
2. Характеристики МСУ-М.



3. Характеристики РЛСБО.
4. Характеристики РМ-0,8.
5. Галузі застосування інформації космічного апарата “Січ”.

## **5 ХАРАКТЕРИСТИКА НАУКОВОЇ АПАРАТУРИ КОСМІЧНОГО АПАРАТА «NOAA»**

Дані у видимому й інфрачервоному діапазонах спектра метеорологічної системи на базі полярно-орбітальних космічних апаратів серії NOAA (Національне управління по дослідженню океану й атмосфери) (рис.5.1) використовуються при рішенні задач, зв'язаних із прогнозуванням погоди, моніторингом хмарного покриву Землі й інших погодних явищ, виміром вертикального профілю температури атмосфери, визначенням характеристик приповерхнього вітру, визначенням температури поверхні моря і суші, збором інформації з платформ геофізичного моніторингу навколишнього середовища, вивченням навколосемного космічного простору, вивченням озонового шару і вмісту аерозолів в атмосфері, моніторингом стану навколишнього середовища, зйомкою сніжного і льодового покривів Землі, одержанням інформації дистанційного зондування в інтересах сільського і лісового господарства, визначення лісових пожеж, розрахунку вегетаційних індексів, прогнозування пожежонебезпеки лісів, кліматології, океанографії.

Крім того, на супутниках цієї серії встановлюється апаратура збору даних з наземних метеорологічних платформ, а також устаткування прийому сигналів небезпеки в рамках системи Коспас/SARSAT.

На космічному апараті NOAA установлений радіометр AVHRR – прилад для виміру параметрів випромінювання (одержання цифрового зображення) з поверхні Землі й інформації про нижні шари атмосфери. Даний прилад фіксує відбитий сигнал у п'ятьох спектральних діапазонах, що включають:

- Канал 1 – видимий (0,53 мкм – 0,73 мкм);
- Канал 2 – ближній інфрачервоний (0,73 мкм – 1,1 мкм);
- Канал 3 – середній інфрачервоний (3,5 мкм – 3,9 мкм);
- Канал 4 – термальний інфрачервоний (10,3 мкм – 11,3 мкм);
- Канал 5 – термальний інфрачервоний (11,5 мкм – 12,5 мкм).

**Канал 1** радіометра AVHRR фіксує відбитий сигнал у видимій частині спектрального діапазону. Одержуване цифрове зображення можна використовувати для:

- Спостереження за різними типами земної поверхні;

- Аналізу альbedo хмарного покриву і поверхні Землі;
- Детектування димів і туманів;
- Визначення розходжень між сніговими і водонасиченими хмарами (снігові хмари, як правило, погані відбивачі у видимому діапазоні; водонасичені хмари, як правило, гарні відбивачі видимого світла).

**Канал 2** радіометра AVHRR фіксує відбитий сигнал у ближній інфрачервоній частині спектрального діапазону. Одержуване цифрове зображення можна використовувати для:

- Спостереження за водяною оболонкою Землі (вода, як правило, має більш низький відбитий сигнал, чим границі діапазону 1-го каналу);
- Визначення відносини каналу 2 і каналу 1 для розрахунку вегетаційного індексу;
- Спостереження земної поверхні через атмосферний серпанок (останній пропускає ближнє інфрачервоне випромінювання);
- Визначення розходжень між сніговими і водонасиченими хмарами.



Рис. 5.1 – Зовнішній вигляд космічного апарата «NOAA»

**Канал 3** радіометра AVHRR фіксує відбитий сигнал у тій частині спектрального діапазону, що фіксує випромінювання, що випускається, у

нічний час і близьке по внеску щодо випускаємої і відбитої сонячної радіації в денний час. Одержуване цифрове зображення можна використовувати для обробки інформації, отриманої в нічний час, для:

- Визначення типів хмарності (для визначення типів хмарності завжди використовуються канали 4 і 5);
- Використання розходжень між каналами 3 і 4 для визначення структури розподілу температур усередині хмарності;
- Детектування пожеж і вулканічних вивержень.

**Канал 4** радіометра AVHRR фіксує відбитий сигнал у тій частині спектрального діапазону, у якій теплове випромінювання Землі домінує увесь час (включаючи день і ніч). Одержуване цифрове зображення можна використовувати для обробки інформації, одержуваної в будь-який час доби для:

- Оцінки температурної «яскравості» земної і водної поверхні, а також верхніх шарів хмарного покриву;
- Детектування типів хмарності (завжди в порівнянні з інформацією з інших каналів);
- Використання розходжень між каналами 3 і 4 для визначення структури температурного розподілу усередині хмарності (у нічний час);
- Порівняння з каналом 5 для визначення нижнього рівня вологості;
- Порівняння з каналом 5 для детектування розподілу викидів вулканічного попелу.

**Канал 5** радіометра AVHRR фіксує відбитий сигнал у тій частині спектрального діапазону, у якій теплове випромінювання Землі домінує увесь час (включаючи день і ніч). Одержуване цифрове зображення можна використовувати для обробки інформації, одержуваної в будь-який час доби для:

- Оцінки температурної «яскравості» земної і водної поверхні, а також верхніх шарів хмарного покриву;
- Детектування типів хмарності (завжди в порівнянні з інформацією з інших каналів);

Використання даних різних каналів AVHRR дозволяють вирішувати ряд вузькоспеціалізованих прикладних задач.

Спільний аналіз даних 1 і 2 каналів використовується для:

- Аналізу альбедо хмарного покриву і поверхні Землі;
- Детектування димів і туманів;

- Визначення розходжень між сніговими і водонасиченими хмарами (снігові хмари, як правило, погані відбивачі у видимому діапазоні; водонасичені хмари, як правило, гарні відбивачі видимого світла);
- Спостереження за водяною оболонкою Землі (вода, як правило, має більш низький відбитий сигнал, чим границі діапазону 1-го каналу);
- Розрахунку вегетаційного індексу;
- Спостереження земної поверхні через атмосферний серпанок (остання пропускає ближнє інфрачервоне випромінювання).

Канал 3 дозволяє проводити:

- Детектування пожеж і вулканічних вивержень;
- Оцінку температурної «яскравості» земної і водяної поверхні, а також верхніх шарів хмарного покриву;
- Детектування типів хмарності (завжди в порівнянні з інформацією з інших каналів);

Порівняння каналу 4 з каналом 5 дозволяє:

- Визначити нижній рівень вологості;
- Детектувати розподіл викидів вулканічного попелу.

Канал 5 трохи більш чуттєвий до нижнього рівня вологості, чим канал 4. У результаті, використовуючи дану властивість, можна робити наступне – використовувати спектральні розходження для оцінки кількості нижнього рівня вологості в атмосфері, використовувати лінійну комбінацію двох каналів для виключення ефекту охолодження при визначенні нижнього рівня вологості, одержуючи більш точні дані. Хмари в температурній інверсії (наприклад, туман) мають відмінний сигнал, у порівнянні з хмарами з іншими температурними профілями. Хмари вулканічного попелу мають істотна відмінність сигналів по каналах 4 і 5.

### **Питання для самоконтролю**

1. Призначення космічного апарата “NOAA”.
2. Характеристика AVHRR.

## **6 ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ ТЕЛЕМЕТРИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ОГЛЯДОВИХ СИСТЕМ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ**

Розглянемо формування телеметричної інформації на прикладі радіометра супутника NOAA.

AVHRR – радіометр, що встановлюється на супутниках серії NOAA. Він призначений для сканування з дзеркалом, що обертається зі

швидкістю 360 оборотів у хвилину перпендикулярно напрямку польоту супутника. З кожним оборотом дзеркала радіометр послідовно обдивляється глибокий космос, земну поверхню і нагрітий радіатор абсолютно чорного тіла, що є частиною приладового кожуха.

Промениста енергія, зібрана дзеркалом проходить через телескоп і розділяється на п'ять оптичних підсистем до кожного з п'яти спектральних "вікон". Кожний з цих датчиків чуттєвий до променистої енергії в межах питомих спектральних областей: видимої, ближньої інфрачервоної, середньої інфрачервоної, термальної інфрачервоної (2 канали).

Три теплових детектори ІЧ-випромінювання встановлені на пасивно охолоджуваній установці називаною "коректор". Температура цієї установки підтримується в межах 105°К для надійного функціонування детекторів ІЧ-випромінювання.

Аналогова інформація від кожного з датчиків перетворюється в 10 розрядний цифровий код. Ці цифрові дані обробляються і передаються супутником на наземні станції. Передача даних здійснюється з високим розрізненням 1 км (канал HRPT – high resolution pictures transmitting – передача зображення з високим розрізненням). Одночасно передаються 5 спектральних каналів.

Відеосигнал для передачі по каналі АРТ (automatic pictures transmitting – автоматична передача зображення) формується на борті космічного апарата NOAA з даних високого розрізнення HRPT радіометра AVHRR. АРТ сигнал містить два зображення (видиме й інфрачервоне), відповідне калібрування і телеметричні дані. Вибір каналів для передачі на Землю визначається наземним центром керування. Протягом денного проходу АРТ звичайно містить відео від AVHRR видимого каналу 1 і інфрачервоного каналу 4.

Цифрові дані від двох обраних спектральних каналів обробляються в бортовому процесорі з метою зменшення розрізнювальної здатності (з 1,1 до 4 км) і лінеаризації даних уздовж скана так, щоб розрізнювальна здатність була рівномірною. Після цифрової обробки дані мультиплекуються з відповідними калібрувальними і телеметричними даними. Потім процесор перетворює мультиплексовані дані в аналоговий сигнал, проводить його низькочастотну фільтрацію і модулює цим сигналом несучу частоту 2400 Гц. Максимальна модуляція визначається як амплітуда сірої шкали рівня 8, що відповідає індексу модуляції  $87 \pm 5\%$ .

Це приводить до АРТ формату відео як показано на рис. 6.1, 6.2.

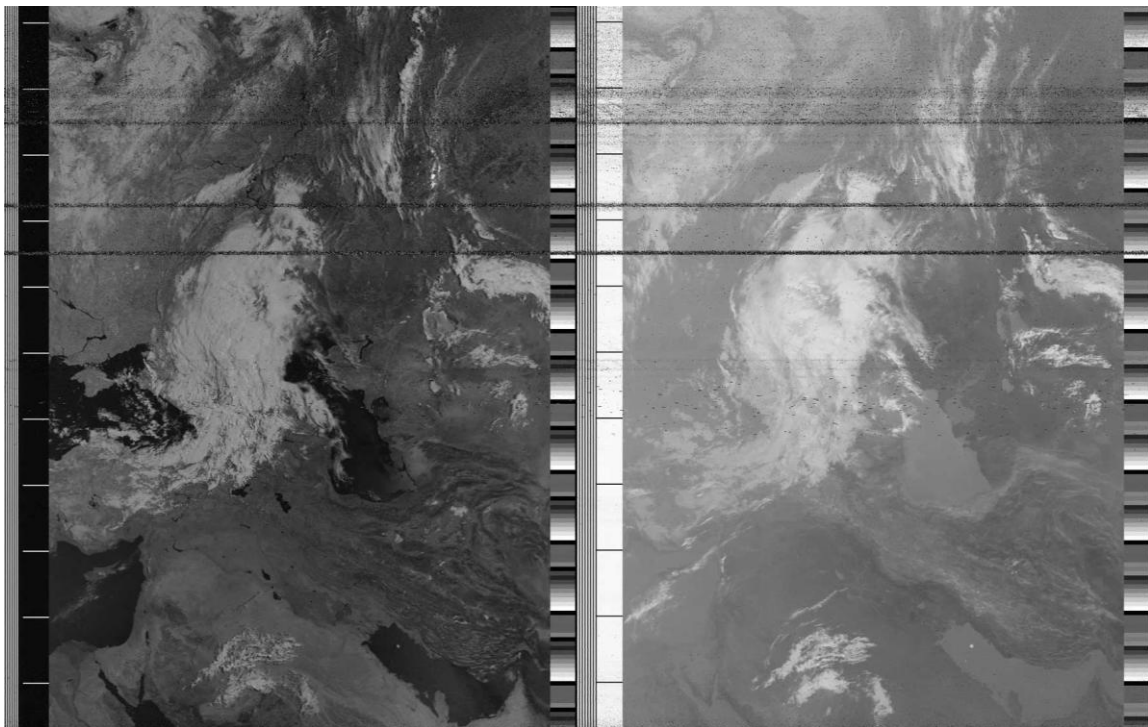
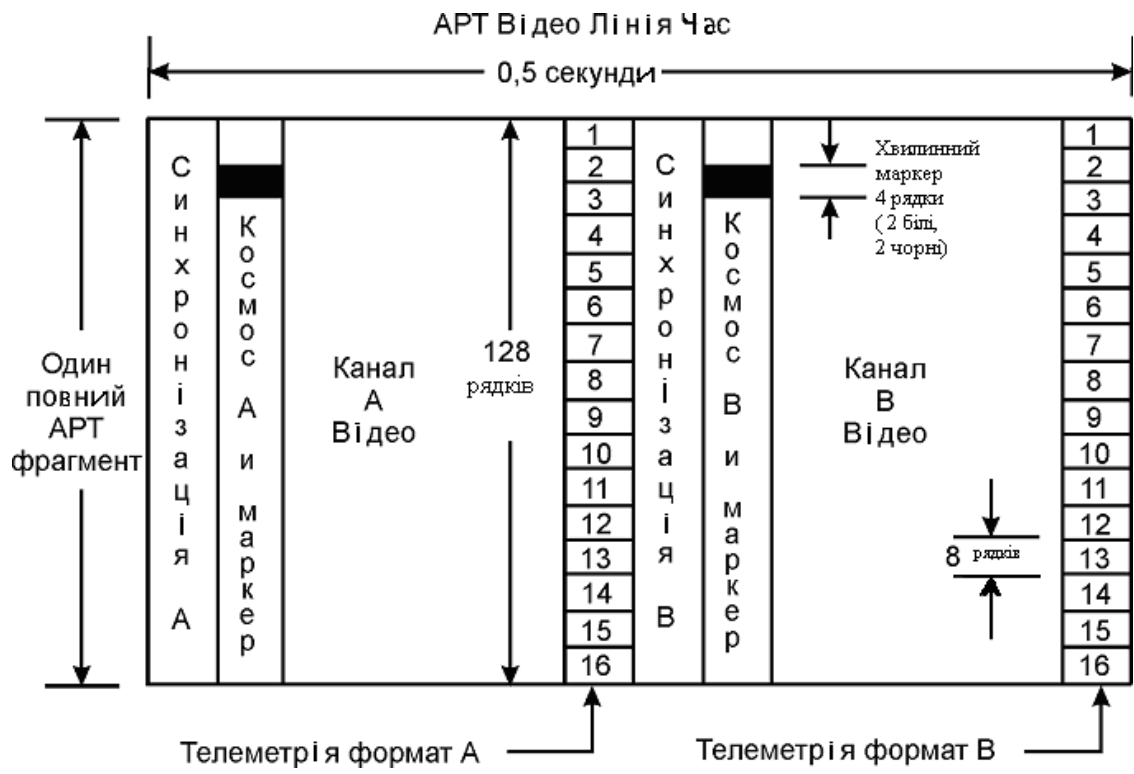


Рис. 6.1 – Формат кадру АРТ режиму

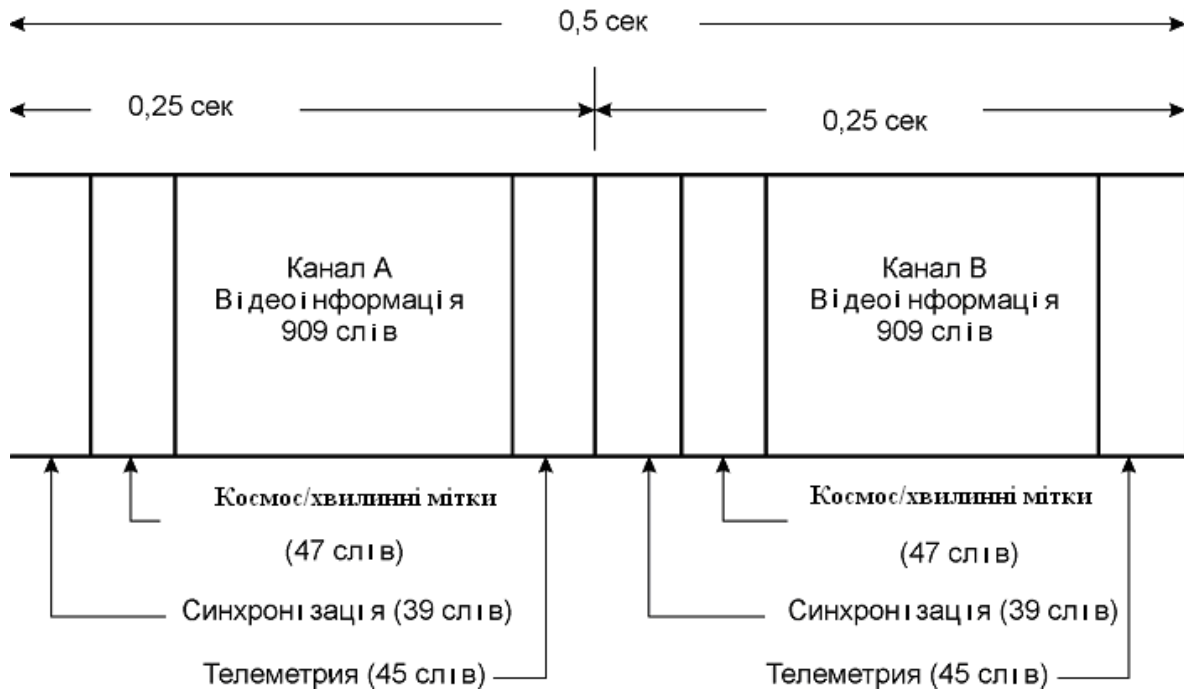


Рис. 6.2 – Формат рядка відеоінформації АРТ режиму

У таблиці 6.1 представлені дані формату АРТ.

Таблиця 6.1 – Дані формату АРТ

Параметр		Значення параметра
Кадр	кадрова частота кількість рядків формат	1 кадр у 64 секунди 128 рис. 6.1
Рядок	частота рядків кількість слів у рядку кількість каналів кількість слів одного каналу формат	2 рядка в секунду 2080 2 909 рис. 6.2
Слово	частота ЦАП-АЦП точність темп передачі розрізнявальна здатність рядкова синхронізація	4160 слів у секунду 8-м старших розрядів з 10-ти точність AVHRR 120 рядків у хвилину 4 км 7 імпульсів частотою 1040 Гц, скважність 2 для каналу А 7 імпульсів частотою 832 Гц, скважність 1,67 для каналу В

Телеметрична інформація використовується для одержання температури підстильної поверхні від теплових інфрачервоних зображень. Точність виміру температури при відсутності перешкод у сигналі досягає  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

Один цикл телеметрії містить 16 індивідуальних клинів, кожний з яких складений з восьми послідовних рядків відео. Ці цикли безупинно повторюються протягом супутникової орбіти так, щоб безліч повних циклів були доступні для прийомної наземної станції протягом одного супутникового проходу. Тут необхідно відзначити, що перші 15 клинів ідентичні в обох зображеннях формату АРТ і тільки клини 15 і 16 будуть відмінні в каналах А і В.

### **Клини 1-8**

Перші вісім клинов у межах однієї структури телеметрії виходять шляхом модулювання частоти 2400 Гц АРТ-піднесучою частотою з 8 лінійними, 8-розрядними виходами, від MIRR на супутнику.

Змодульований клин (рис.6.3) представляє «цифрове значення». Аналоговий сигнал, отриманий на наземній станції показує це значення як коефіцієнт модуляції (КМ) і в аналоговій області буде існувати як рівень напруги для кожного клина.

Наземна станція, у якій використовується чорно-біла система відображення, буде бачити ці вісім клинів як гранулометричну шкалу яскравості від темного півтону до практично білого (КМ від 10,6 % до 87,0 %).

Графік на рис. 6.4 показує відносини між рівнями сірого і первісними 8-розрядними даними AVHRR.

Ця лінійна шкала формує стандартний АРТ вихідний сигнал, з яким можуть бути зрівняні всі дані телеметрії в інших клинах.

### **Клин 9. Нульова Модуляція**

Нульовий модуляційний клин не містить ніяку сигнальну модуляцію і представляє основне сигнальне посилення рівня. У чорно-білій системі відображення цей клин буде здаватися чорним і буде мати рівень напруги рівний 0 і відповідне 8-розрядне AVHRR значення рівне 0.

### **Клин 10-13. Теплові температури 1-4**

Під час сканування зображення AVHRR, сканер періодично «переглядає» нагрітий приблизно до  $20^{\circ}\text{C}$  радіатор абсолютно чорного тіла для того, щоб знайти теплове випромінювання абсолютно чорного тіла при цій температурі. Це "сканування назад" робить відповідь телеметрії, що показана в клині 15. Телеметрія в клинах 10-13 забезпечує



даними, за допомогою яких можна визначити фактичну польотну температуру радіатора абсолютно чорного тіла.

	АРТ аналогова напряга	Цифрове значення
1	0,757 В КМ-10,6%	31
2	1,538 В КМ-21,5%	63
3	2,319 В КМ-32,4%	95
4	3,101 В КМ-43,4%	127
5	3,881 В КМ-54,2%	159
6	4,663 В КМ-65,2%	191
7	5,444 В КМ-76,0%	223
8	6,225 В КМ-87,0%	255
9	Нульова модуляція	0
10	Теплові температури PRT#1	
11	Теплові температури PRT#2	
12	Теплові температури PRT#3	
13	Теплові температури PRT#4	
14	Температура коректора	
15	Сканірування назад	
16	Ідентифікація каналу	

Рис. 6.3 – Формат кадру телеметрії в режимі АРТ

На цьому радіаторі встановлені чотири платинових термометри опору. З виходу кожного термометра інформація надходить у цифровому виді і використовується для модулювання відповідної частини АРТ сигналу. Температура цього нагрітого сегмента може декілька

змінюватися через розходження температур на супутнику. Найкраща оцінка температури абсолютно чорного тіла виходить шляхом оцінки середнього значення даних, що містяться в клинах 10-13.

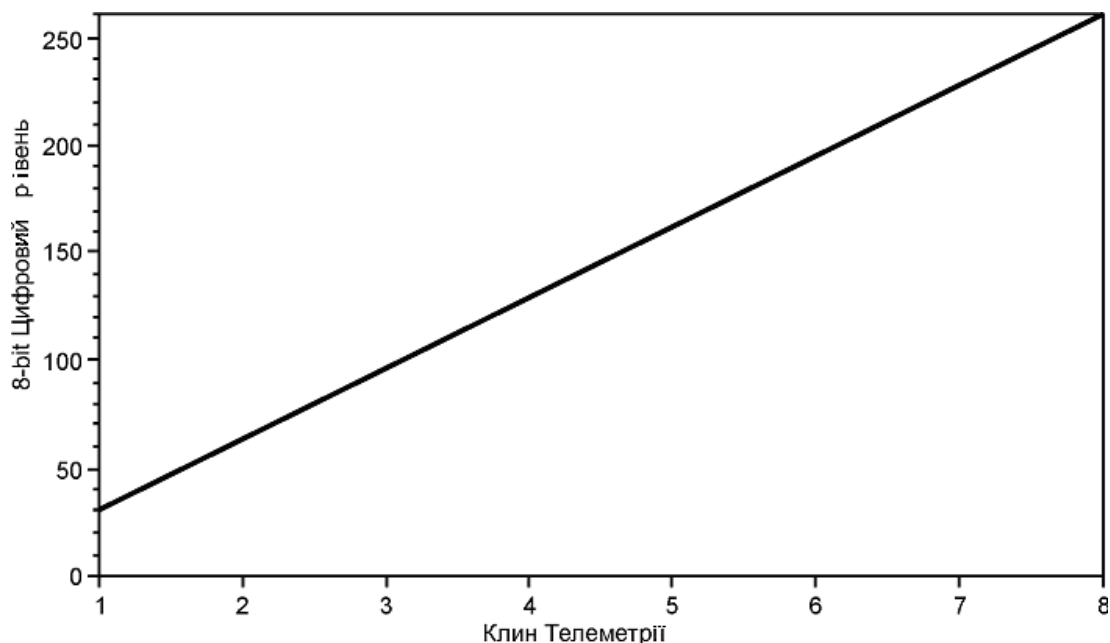


Рис. 6.4 – Аналого-цифрові відносини клина телеметрії

#### **Клин 14. Температура коректора**

Температура коректора – обмірюване значення температури частини теплового інфрачервоного вікна AVHRR, що пасивно охолоджено до температури приблизно 105°K. Ця температура калібрована і не використовується прямо в процесі градування апаратури.

#### **Клин 15. Сканування назад**

Зворотне сканування – це отримане значення телеметрії, коли прилад AVHRR фіксує випромінювання від радіатора абсолютно чорного тіла. Це значення з невеликими варіаціями в температурі абсолютно чорного тіла змінюється з кожним ІЧ тепловим каналом (AVHRR канали 3, 4, 5).

#### **Клин 16. Ідентифікація Каналу**

Клин ідентифікації каналу містить інформацію для визначення того, який з 5 каналів радіометра AVHRR використовується для одержання даних.

## Космічні дані

Після синхроімпульсу кожне зображення АРТ-рядка відео містить космічні дані. Це чорна безупинна смуга з хвилинними мітками ліворуч від зображення (рис. 6.5). Рівень сигналу цих даних дорівнює значенню, обмірюваному радіометром AVHRR при огляді глибокого космосу, і є експлуатаційним, оскільки обдивляється глибокий космос у межах спектра частот каналу ІЧ. Для цілей температурного градуювання це значення є нульовим для кожного з теплових AVHRR каналів. Воно може використовуватися для того, щоб установити другу точку для температурної градуювальної кривої каналів радіометра.

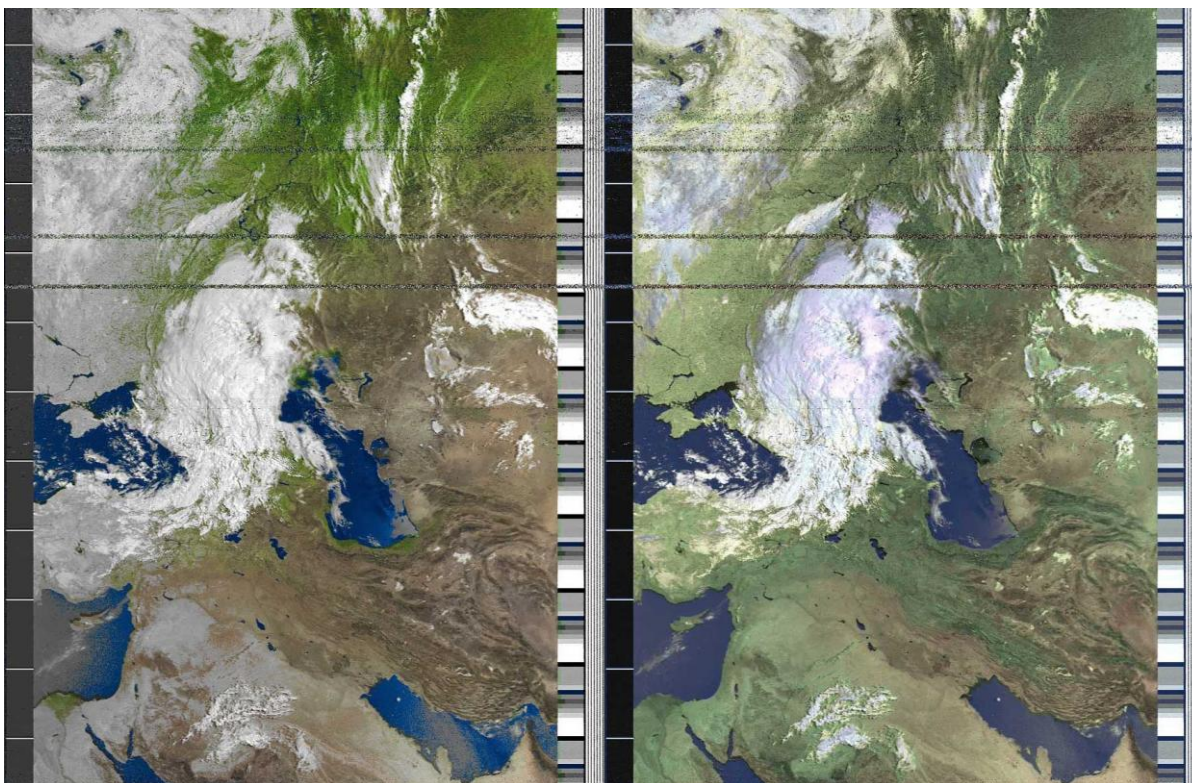


Рис. 6.5 – Космічні дані АРТ формату  
(чорна смуга з хвилинними мітками з лівого боку кожного знімку)

### Питання для самоконтролю

1. Характеристика сканування AVHRR.
2. Будова AVHRR.
3. Модулювання даних AVHRR.
4. Формат кадру телеметрії АРТ – режиму.
5. Формат рядка телеметрії АРТ – режиму.
6. Характеристика формату АРТ.
7. Клини телеметрії.

## 7 ПРИЗНАЧЕННЯ, СКЛАД, ХАРАКТЕРИСТИКИ І МОЖЛИВОСТІ СТАНЦІЇ КОСМЕК

Станція «КОСМЕК» призначена для прийому зображень у режимі реального часу (безпосереднього прийому – БП), переданих з полярно-орбітальних супутників серії NOAA, Метеор, Ресурс, Океан, Січ і ін. у форматі АРТ у діапазоні радіочастот 137-138 МГц.

Отримана інформація може бути використана в гідрометеорологічних центрах (регіональних, республіканських, обласних), авіаційних, залізничних, морських і автомобільних підприємствах, аерофотозйомних загонах, рибальських організаціях, навчальних закладах, науково-дослідних організаціях, екологічних центрах.

Основне призначення отриманої інформації – екологічна оцінка стану природного середовища, гідрометеорологічні прогнози, навчання технологіям дистанційного зондування Землі, наукова праця.

Основна тематика знімків:

- наочне вивчення місця розташування географічних об'єктів і їхніх характеристик;
- моніторингові дослідження режимів природнокліматичних і ландшафтних зон (зіставлення з наявними картографічними даними);
- спостереження за станом великих водяних об'єктів, їх гідро- і теплодинамічними режимами;
- спостереження за станом великих рослинних масивів і іригаційних систем;
- метеорологічний і кліматичний моніторинг;
- льодовий режим морів; спостереження за просторово-часовим розподілом снігового покриву;
- спостереження за великими надзвичайними подіями й екологічними катастрофами (повені, посухи, лісові пожежі, забруднення морських вод нафтопродуктами, заморозки, урагани, тумани, ожеледь, пилові бурі);
- спостереження за геоморфологічними і погодоутворюючими характеристиками великих гірських масивів.

Станція (рис. 7.1, 7.2) складається з антени з редуктором, малошумного підсилювача, блоку керування антеною, приймача, комп'ютера і пакета прикладного програмного забезпечення.

У комплект постачання входять:

- антена з підсилювачем - 1 шт.
- ВЧ кабель (50 Ом) - у залежності від потреби

- приймач - 1 шт.
- програмне забезпечення
- інструкція - 1 шт.

Можливості станції КОСМЕК полягають у наступному. Станція одержує із супутника зображення навколишньої території при куті місця над обрієм космічного апарата більш 5 градусів:

- NOAA - 10 -12 разів у добу;
- Метеор - 7 - 9 разів у добу;
- Ресурс - 3 - 4 рази в добу;
- Океан - 1 раз у добу;
- Січ - 3 - 5 разів у добу

У середньому за добу можна виконувати 15...20 сеансів. Тривалість сеансу може складати від 6 до 15 хвилин.



Рис. 7.1 – Склад станції прийому супутникової інформації КОСМЕК



Рис. 7.2 – Зовнішній вигляд робочого місця оператора станції КОСМЕК

У таблиці 7.1 представлені узагальнені характеристики радіолінії (борт-земля) у режимі АРТ.

Таблиця 7.1 – Характеристики радіолінії борт-земля в режимі АРТ

Параметри	Космічні апарати	
	NOAA	Метеор, Січ, Океан, Ресурс
Несуча частота	137,50; 137,62 МГц	137,30; 137,40; 137, 85 МГц
Поляризація передавальної антени	права кругова	права кругова
Коефіцієнт підсилення антени	3,7 дБ	3,7 дБ
Потужність передавача	<b>5 Вт</b>	5-10 Вт
Вид модуляції несучої	АМ/ЧМ	АМ/ЧМ
Девіація частоти	± 17 кГц	± 15 кГц
Частота піднесучої	2400±0,3 Гц	2400±0,3 Гц
Індекс модуляції піднесучої	87±5%	87±5%
Вид модуляції піднесучої	АМ-ДБП	АМ-ДБП
Смуга частот сигналу, що модулює	1,6 кГц	1,6 кГц
Частота рядків зображення	120 рядків/хв	120 рядків/хв
Розрізнявальна здатність переданого зображення	4 км	4 км

Обсяг інформації, одержуваної за один сеанс зв'язку, тобто поки супутник проходить через зону видимості станції, може складати 3...20 Мб.

В Україні станція дозволяє спостерігати територію від Піренеїв до Уральських гір по довготі і від Північної Африки до Скандинавії по широті (рис. 7.3, 7.4). Отримані знімки можуть бути як чорно-білими, так і кольоровими в картографічній проекції масштабу 1:10.000.000.

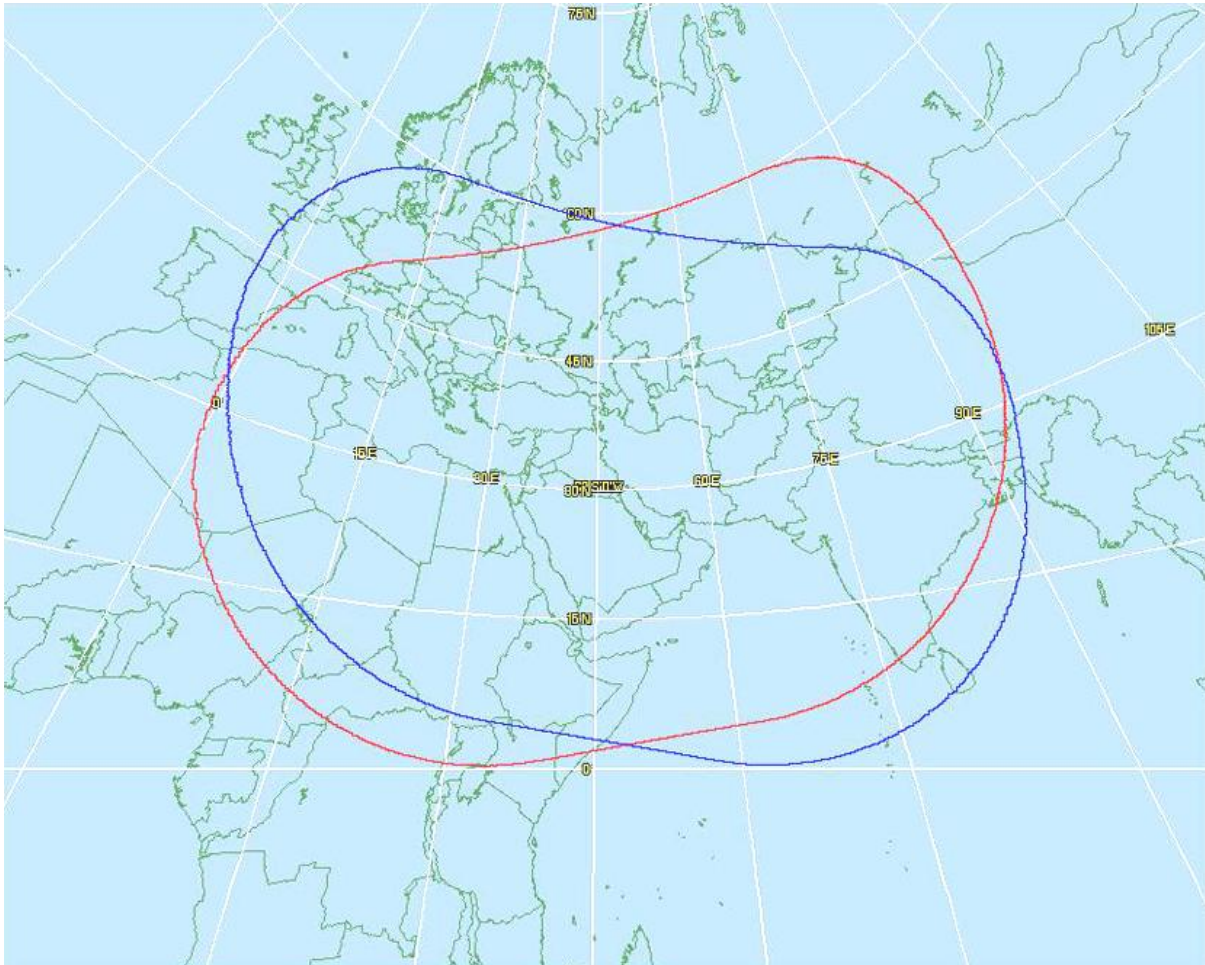


Рис. 7.3 – Зона покриття космічного апарата Метеор з центром у м. Одеса (лінія 1 – проліт з півночі на південь, лінія 2 – проліт з півдня на північ)

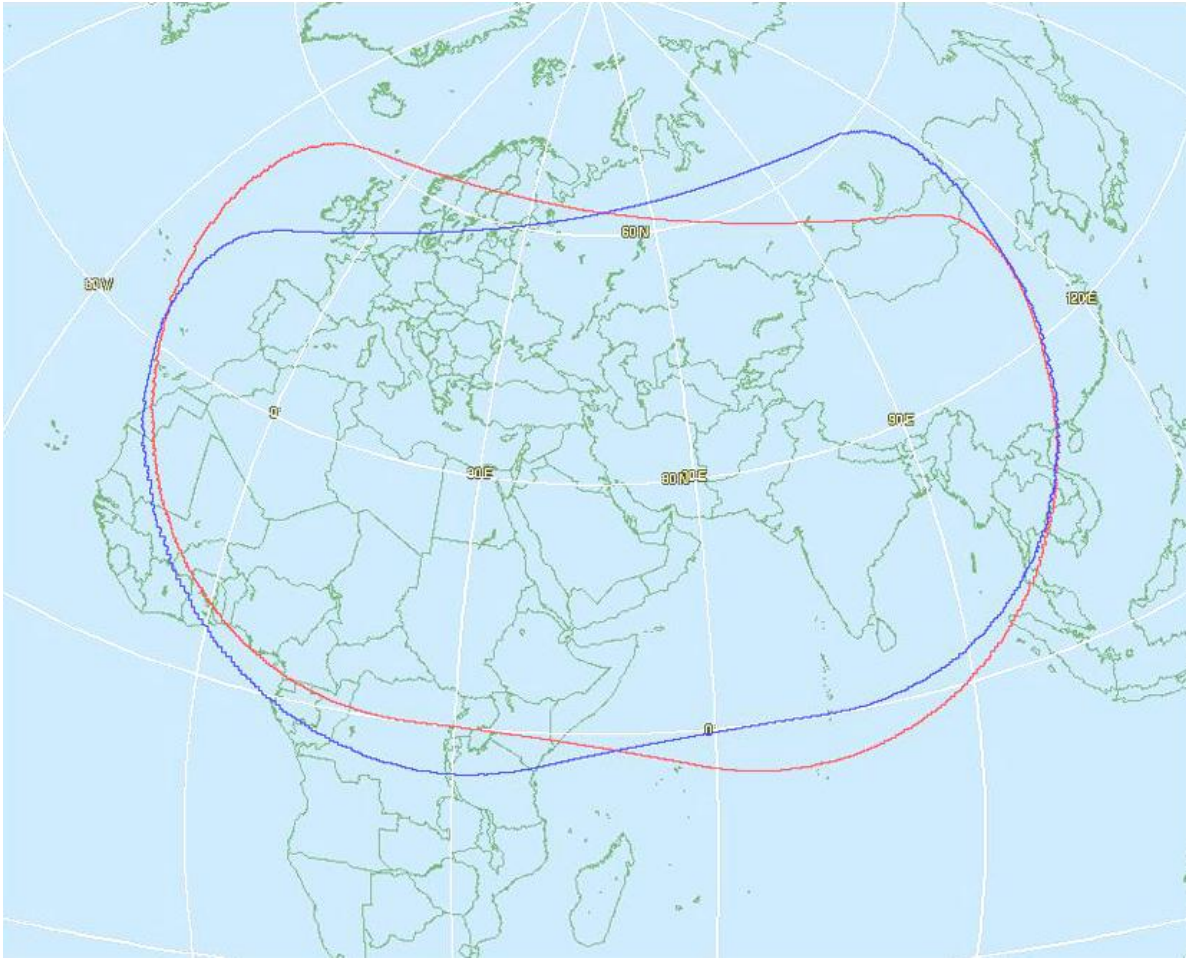


Рис. 7.4 – Зона покриття космічного апарата NOAA з центром у м. Одеса (лінія 1 – проліт з півночі на південь, лінія 2 – проліт з півдня на північ)

### Питання для самоконтролю

1. Призначення станції КОСМЕК.
2. Склад станції КОСМЕК.
3. Можливості станції КОСМЕК.
4. Зона спостереження станції КОСМЕК для України.

## 8 БУДОВА І ПРИНЦИП РОБОТИ СТАНЦІЇ КОСМЕК

До стандартного комп'ютера (рис. 8.1), що входить до складу станції пред'являються визначені мінімальні вимоги:

1. Операційна система – Windows 95/98/2000/NT (під ці системи розроблене програмне забезпечення),



2. Процесор не гірше Intel 486 чи Pentium,
3. Оперативна пам'ять RAM не менш 32 Мб (найкращий варіант 128 Мб і більш),
4. Звуковий контролер (sound card) - 11.025 кГц, моно,
5. Графічний контролер (graphic card) - 256 кольорів і більш.



Рис. 8.1 – Стандартний персональний комп'ютер, що входить до складу станції КОСМЕК

**Характеристики антенної системи:**

1. Тип – хрестоподібна,
2. Поляризація – кругова правобічна,
3. Коефіцієнт підсилення антени – 3,7 дБ,
4. Обертання в горизонтальній площині –  $\pm 90^\circ$ ,
5. Габарити – 1,5 x 1,0 x 1,0 м.
6. Маса – 2,2 кг.

Антенна (рис. 8.2) забезпечує прийом сигналів від супутників при невідомій поляризації приходячої хвилі і напрямку її приходу, тобто антена є всеспрямованою. Вона побудована на двох схрещених під кутом  $90^\circ$  напівхвильових диполях, що лежать в одній площині, з оптимально розташованим рефлектором.

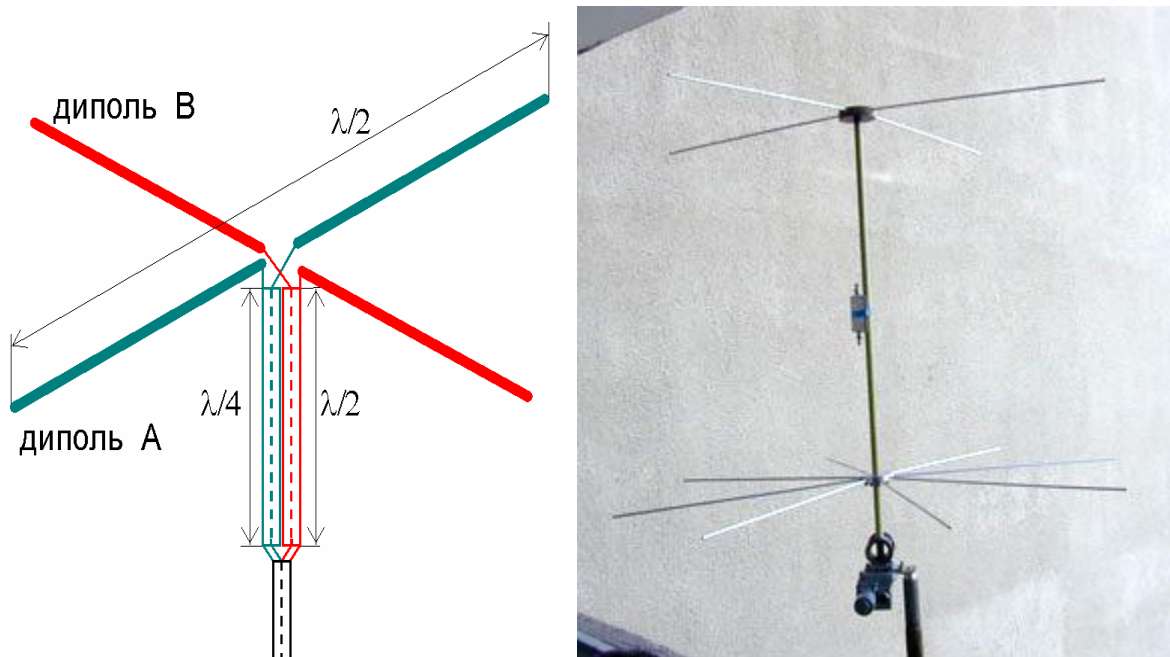


Рис. 8.2 – Принципова схема і конструкція антени з встановленим антенним підсилювачем

Подібна конструкція забезпечує практично кругову діаграму спрямованості в горизонтальній площині і куполоподібну у вертикальній площині (рис. 8.3).

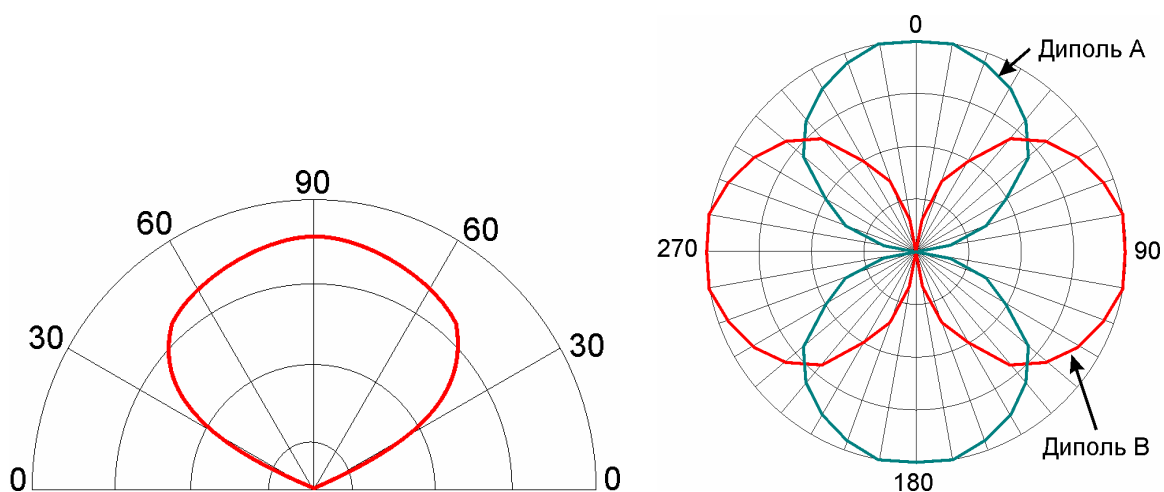


Рис. 8.3 – Діаграми спрямованості антени станції відповідно у вертикальній і в горизонтальній площині

Тому що обидва вібратори з'єднані паралельно, то й опір антени в точці живлення дорівнює 50 Ом для простих напівхвильових вібраторів. Через складність живлення цієї антени, а також через те, що лінії зв'язку мають електричні параметри, що залежать від частоти і, отже, вся антена

в цілому має досить вузьку смугу пропущення, необхідну для прийому радіосигналу в діапазоні 137-138 МГц.

Варто мати на увазі, що при прийомі лінійно поляризованої хвилі рівень прийнятого сигналу знижується на 3 дБ. Якщо ж напрямок обертання поляризації приходящої хвилі протилежний тому, на яке розрахована дана антенна система, то можна чекати значного ослаблення (до 40 дБ) рівня прийнятого сигналу.

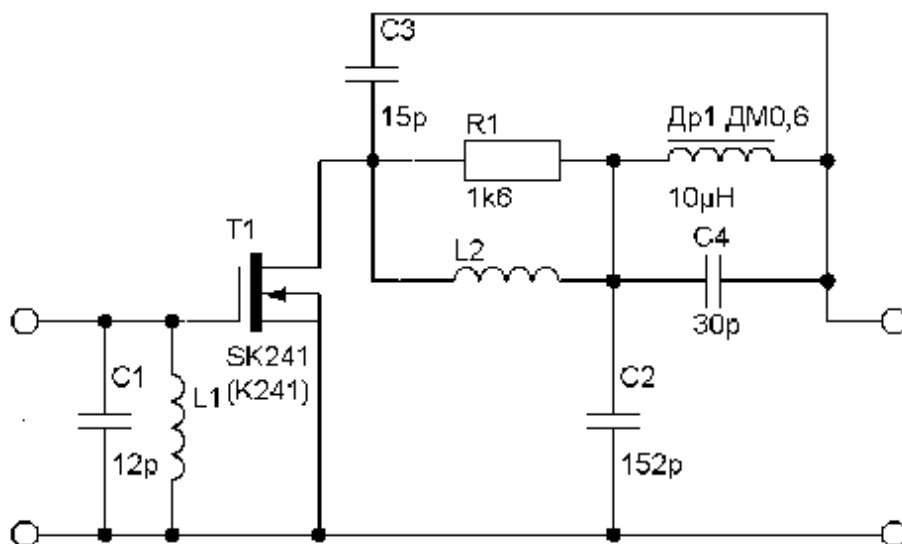


Рис. 8.4 – Принципова схема антенного підсилювача

Малощумний **антенний підсилювач** 137-138 МГц (принципова схема приведена на рис. 8.4) забезпечує достатній коефіцієнт підсилення (20 дБ) для компенсації ослаблення сигналу в сполучному кабелі від антени до приймача й у роз'ємах, придушення перешкод поза частотним діапазоном, а також перешкоджає появі в основному приймачі інтермодуляційних перекручувань. Як правило, цей антенний підсилювач використовується при довжині сполучних кабелів більш 20 м. Підсилювач одержує живлення через сигнальний кабель від приймача і встановлений на щоглі антени.

**Блок керування антеною.** При русі супутника по орбіті можлива траєкторія польоту (лінія 1 на рис. 8.5) коли супутник пролітає під кутом 45 градусів до взаємо-перпендикулярних диполів антени. Тоді, щоб не було втрати сигналу при куті місця 0...5 градусів необхідно повернути антену в горизонтальній площині на кут стійкого прийому сигналу. Для цього призначений блок керування антеною (рис. 8.6).

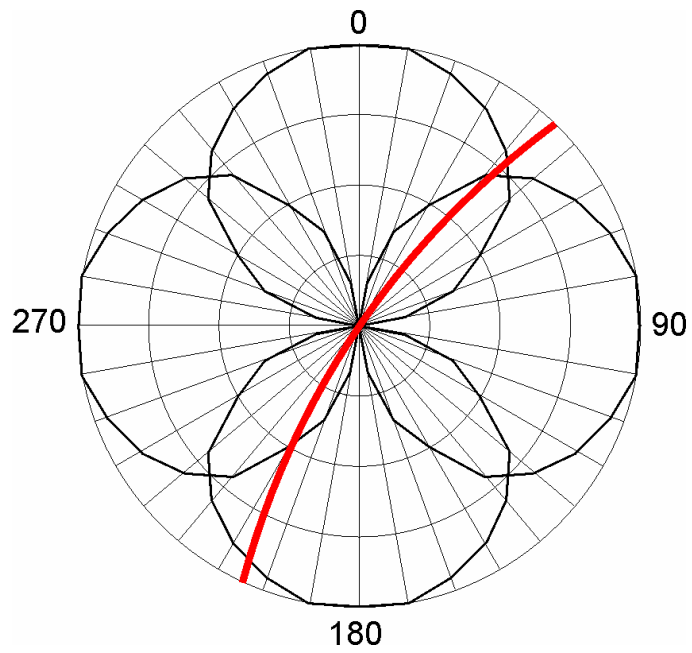


Рис. 8.5 – Траєкторія найгіршої якості прийому інформації із супутника

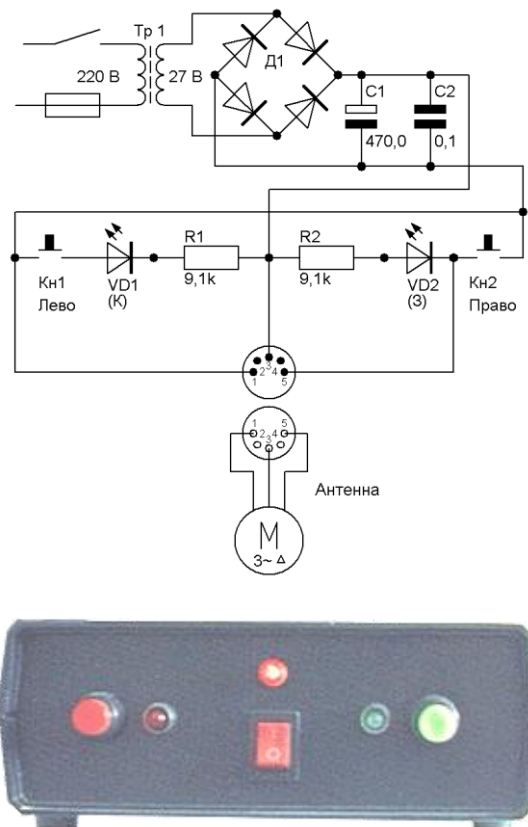


Рис. 8.6 – Принципова схема і зовнішній вигляд блоку керування антеною

Основні характеристики блоку керування антеною:

1. Живлення - 220 В
2. Вихідна напруга - 26 В
3. Споживаний струм - 250 мА
4. Габарити - 155 x 138 x 60 мм
5. Маса - 0,950 кг .

**Прийомна частина** (рис. 8.7, 8.8) станції КОСМЕК призначена для посилення прийнятого сигналу до необхідного рівня і подачі його на обробку в комп'ютер.

Характеристики приймача:

1. Частота несучої з дискретністю 5 кГц (МГц) - 137,00 - 138,00
2. Автоматичний і ручний пошук по частоті з кроком 5 і 0,5 сек
3. Сітка частот, що програмується
4. Подвійне перетворення частоти - 10,7 МГц і 455 кГц
5. Чутливість (мкВ) - 0,2
6. Вид модуляції несучої - ЧМ
7. Девіація частоти (кГц) -  $\pm 17$
8. Частота що є піднесучою (кГц) -  $2,4 \pm 0,3$  кГц
9. Вид модуляції піднесучої - АМ-ДБП
10. Смуга частот (кГц) - 1,6
11. Частота рядків зображення - 120 рядків/хв
12. Живлення - 220 В
13. Споживаний струм - 60 мА
14. Габарити - 100 x 115 x 40 мм
15. Маса - 0,5 кг

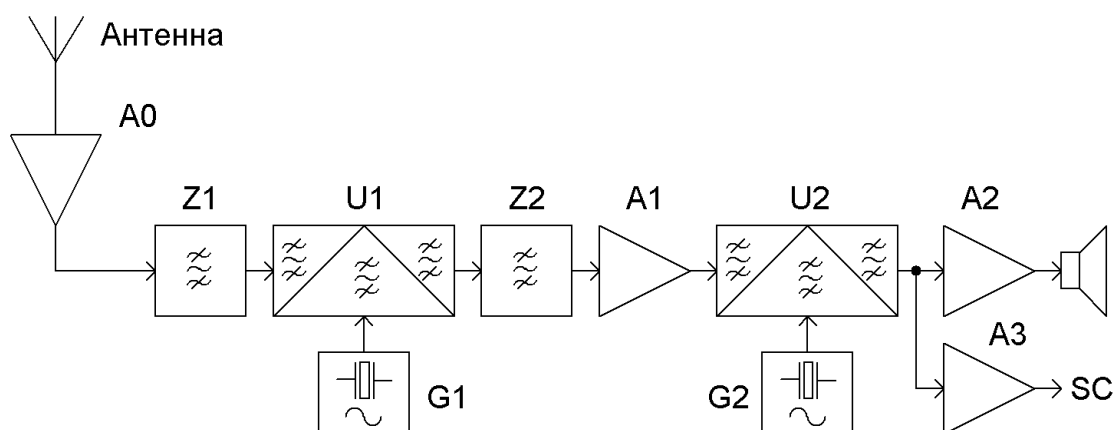


Рис. 8.7 – Функціональна схема прийомної частини станції



Рис. 8.8 – Зовнішній вигляд прийомної частини станції

Сигнал з антени через малошумний антенний підсилювач А0 надходить на вхід приймача (рис. 8.7). Приймач являє собою супергетеродин з подвійним перетворенням частоти. Для забезпечення гарного придушення дзеркального каналу перша проміжна (ПЧ) частота обрана – 10,7 МГц. Перший гетеродин складається з генератора G1 із синтезатором частот із кварцовою стабілізацією частоти (10 МГц), що виробляє коливання частотою 126,3 – 127,3 МГц.

Колівання частотою 126,3 – 127,3 МГц із гетеродина подаються на змішувач U1. Сюди ж через вхідний фільтр Z1 надходять сигнали із супутника (137,0 – 138,0 МГц). Перетворений змішувачем U1 спектр проміжних частот лежить у районі частоти 10,7 МГц. Смуга пропускання першої ПЧ визначається фільтром Z2 і підсилювачем А1. Керамічний фільтр Z2 має смугу пропускання – 40 кГц і включений між першим U1 і другим U2 змішувачами.

Другий гетеродин G2 має кварцову стабілізацію частоти. У ньому використаний кварцовий резонатор на частоту 10,245 МГц, що відповідає другій проміжній частоті 455 кГц.

З виходу змішувача U2 сигнал подається на підсилювач А2 і далі на гучномовець і підсилювач А3 і далі на вхід звукового контролера SC комп'ютера для подальшої обробки сигналу.

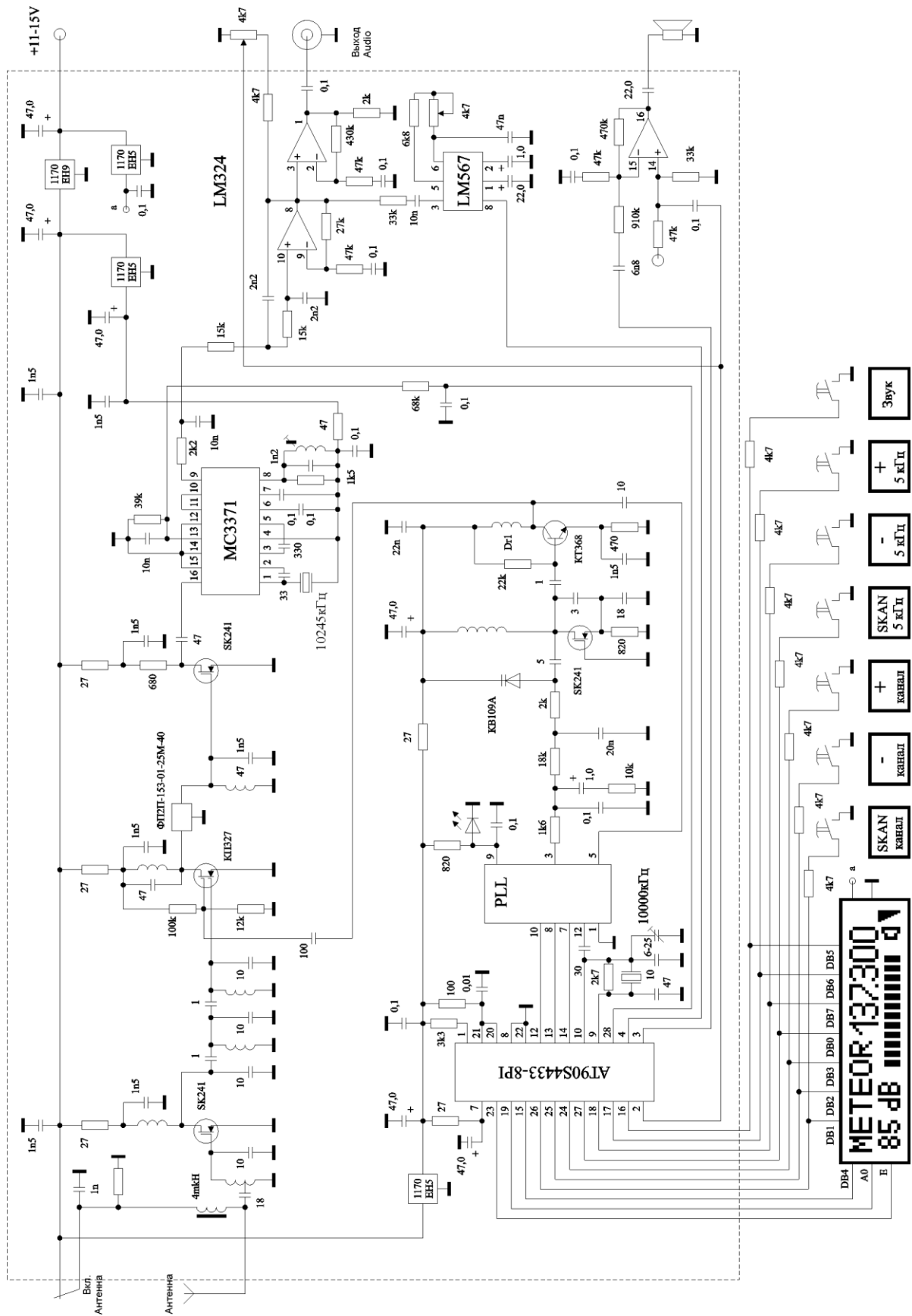


Рис. 8.9 – Принципова схема приймача

Принципова схема приймача приведена на рис. 8.9. Вхідний сигнал з частотою 137-138 МГц надходить на вхід підсилювача, зібраного на транзисторі SK241 і далі через смуговий фільтр на змішувач, зібраний на транзисторі КП327. На другий вхід змішувача надходить сигнал з гетеродина, зібраного на транзисторах SK241 і КТ368 і синтезатора частот, зібраного на мікросхемах АТ90S4433-8PI і PLL.

З виходу першого змішувача сигнал через керамічний фільтр зі смугою пропускання 40 кГц надходить на підсилювач, зібраний на транзисторі SK241 і далі на мікросхему MC3371 (частотний демодулятор), що детектує звуковий сигнал. Звуковий сигнал надходить на операційний підсилювач LM324 і далі на динамік і звуковий контролер комп'ютера (мал. 8.10).

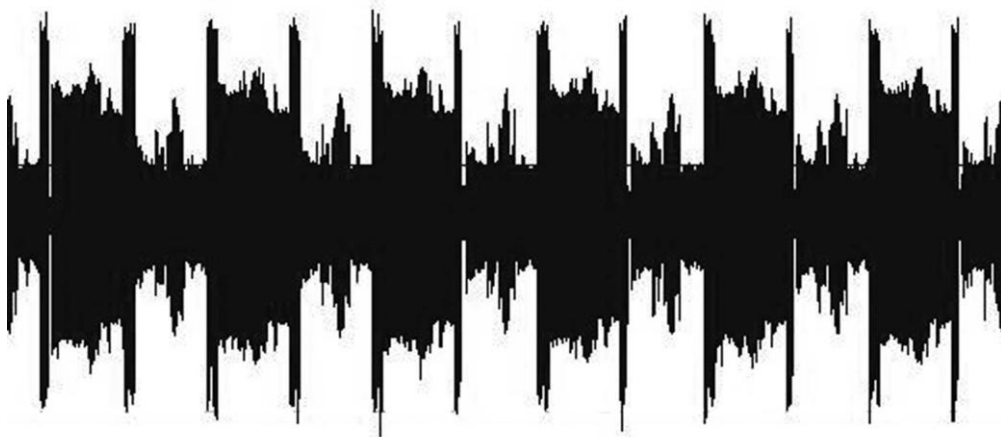


Рис. 8.10 – Вид сигналу, що надходить на комп'ютер

### Питання для самоконтролю

1. Вимоги до комп'ютера станції КОСМЕК.
2. Характеристика антенної системи станції КОСМЕК.
3. Склад і призначення малощумного підсилювача станції КОСМЕК.
4. Призначення і склад блока керування антеною станції КОСМЕК.
5. Характеристики, будова і принцип роботи прийомної частини станції КОСМЕК.



## 9 ПЕРЕТВОРЕННЯ КОСМІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В ЗВУКОВОМУ КОНТРОЛЕРІ КОМП'ЮТЕРА

### 9.1 Звукові файли

Для збереження звукових записів на персональному комп'ютері використовуються файли двох основних типів. У файлах першого типу, названих звичайними звуковими файлами, використовуються формати \*.wav, \*.voc, \*.au і \*.aiff. Звуковий файл містить дані про форму хвилі, тобто такий файл являє собою запис аналогових звукових сигналів у цифровій формі, придатної для збереження на комп'ютері. Подібно графічним зображенням з різними розрізняювальними здатностями, можна зберігати і звукові файли, що являють собою записи різної якості. За замовчуванням визначені три рівні якості запису звуків, використовуваних в Windows 9x і Windows Me (таблиця 9.1).

Таблиця 9.1 – Стандарти якості запису і відтворення звуку в Windows 9x і Windows Me

Вид носія звуку	Частота дискретизації, Гц	Канал	Швидкість потоку даних, Кб/с
Телефонна лінія	11025	8-розрядний моно	11
Радіотрансляція	22050	8-розрядний моно	22
Запис із компакт-диску	44100	16-розрядний стерео	172

В операційній системі Windows Me використовується ще один рівень якості запису звуку – 48 000 Гц, 16-розрядний стерео і 188 Кб/с. Цей рівень призначений для підтримки відтворення звуку з таких джерел, як DVD і Dolby AC-3.

Як видно з таблиці 9.1, розмір файлу істотно залежить від якості запису. При записі з компакт-диску файл може зайняти значний обсяг дискового простору: тільки для 60 секунд звукозапису треба було б 10 Мб пам'яті. Але для багатьох додатків досить якості телефонної лінії, при цьому генерується файл набагато меншого обсягу.

## 9.2 Дискретизація і квантування

Якщо в комп'ютері встановлена звукова плата, то він може записувати звук у цифровій (називаній також іноді дискретній) формі. У цьому випадку комп'ютер використовується як записуючий пристрій. До складу звукової плати входить аналого-цифровий перетворювач (АЦП чи ADC), що при записі перетворить аналоговий сигнал у цифрову форму. Аналогічно при відтворенні цифроаналоговий перетворювач (ЦАП чи DAC) перетворить звуковий запис у звук, що здатний сприймати людина.

Дискретизацією називається процес перетворення вихідного звукового сигналу в цифрову форму, у якій він і зберігається для наступного відтворення. Процес перетворення аналогового сигналу звуку в цифрову форму часто називають також оцифруванням. При цьому зберігаються миттєві значення звукового сигналу у визначені моменти часу, названі вибірками. З курсу цифрової обробки сигналів відомо, що чим частіше беруться вибірки, тим точніше цифрова копія звуку відповідає аналоговому оригіналу.

Першим стандартом МРС передбачалося 8-розрядне кодування амплітуди звуку. Розрядність звуку характеризує кількість бітів, використовуваних для цифрового представлення амплітуди кожної вибірки. При восьми розрядах кількість дискретних рівнів звукового сигналу складає  $256 (2^8)$ , а якщо використовувати 16 біт, та їхня кількість досягає  $2^{16} = 65536$  (при цьому, природно, якість звуку значно поліпшується). Для запису і відтворення мови досить 8-розрядного представлення, а для якісного відтворення музики потрібно 16 розрядів, оскільки динамічний діапазон музики значно більше динамічного діапазону людської мови.

Усі сучасні плати забезпечують 16-розрядне кодування амплітуди звуку і навіть більш.

Якість записуваного і відтвореного звуку, поряд з розрізненням по амплітуді, визначається частотою дискретизації (кількістю вибірок у секунду). Теоретично, відповідно до теореми Котельникова, вона повинна бути в два рази вище максимальної частоти сигналу (тобто верхньої границі частот), але роблять ще плюс 10 % запас. Межа чутності людського вуха – 20 кГц, тому запису з компакт-диску відповідає частота 44,1 кГц.

Якість звуку, дискретизованого з частотою 11 кГц (11000 вибірок у секунду) виходить більш розмитою, чим звуку, дискретизованого з частотою 22 кГц. Обсяг дискового простору, необхідний для запису 16-розрядного звуку з частотою дискретизації 44,1 кГц протягом однієї хвилини, складе 10,5 Мб. При 8-розрядному представленні,

монофонічному звучанні і частоті дискретизації 11 кГц необхідний дисковий простір скорочується в 16 разів.

### 9.3 Звуковий контролер комп'ютера

Будь який звуковий контролер націлений на відтворення й обробку звуку різних джерел, якими можуть бути:

- внутрішні джерела з периферійної шини комп'ютера (звук у цьому випадку являє собою звичайний цифровий потік, дискретизований за часом і рівнем сигналу (наприклад: 44 кГц, 16 біт));
- цифрові джерела, реалізовані в самому звуковому контролері (апаратний синтез, апаратне декодування, апаратна обробка внутрішніх джерел);
- зовнішні аналогові джерела, що підключаються до одного з входів звукового контролера (лінійний вхід, вхід для мікрофона і т.д.).

Функціонально звуковий контролер має вид, показаний на рис. 9.1.

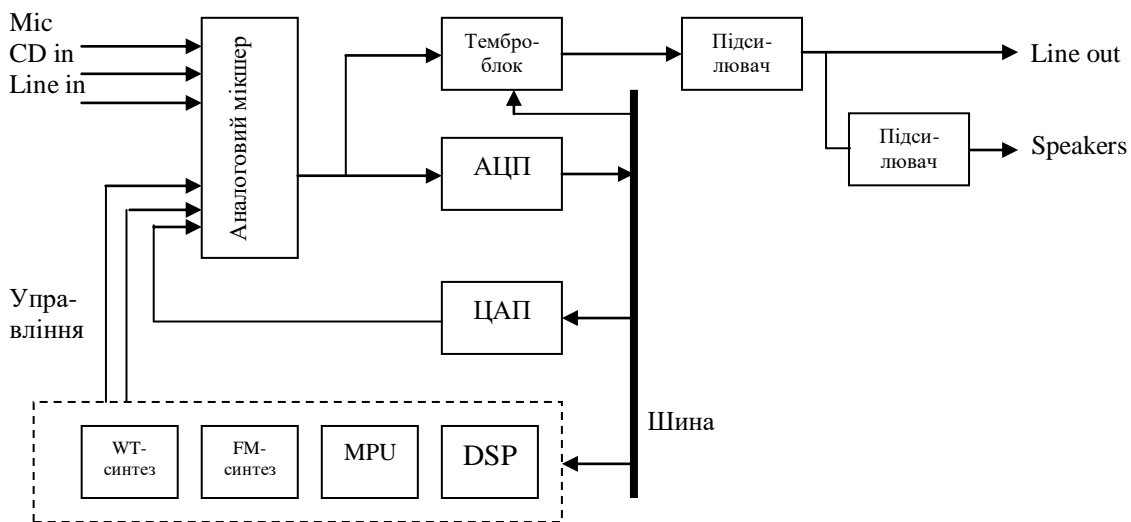


Рис. 9.1 – Функціональна схема звукового контролера

Мікшер здійснює комутацію і зведення аналогових сигналів до одного входу, регулювання рівнів. Звичайно входів/виходів буває від трьох до п'яти: лінійні вхід і вихід, вихід на навушники чи гучномовці, вхід мікрофона, цифровий вихід S/P DIF.

Блок DAC/ADC чи Codec (ЦАП/АЦП) здійснює перетворення аналогового сигналу в цифровий сигнал і навпаки.

MPU (MIDI Processing Unit) відповідає за роботу з MIDI пристроями.

DSP (Digital Signal Processor) – саме загальна назва блоку цифрової обробки звуку. Він виконує усі функції, зв'язані з додаванням ефектів і 3D ефектів.

Інші два блоки на схемі відповідають за апаратний синтез музики, що здійснюється двома способами: WT-синтез (Wave Table) і FM-синтез (Frequency Modulation).

Розглянемо обидва варіанти більш докладно.

#### **9.4 FM-синтез**

FM (Frequency Modulation – частотна модуляція) – синтез за допомогою декількох генераторів сигналу з взаємною модуляцією. Кожен генератор забезпечується схемою керування частотою й амплітудою сигналу й утворює "оператор" – базову одиницю синтезу. У сучасних звукових контролерах застосовується 4-операторний (OPL3) синтез. Схема з'єднання і параметри кожного оператора визначають тембр звучання.

Переваги методу – відсутність заздалегідь записаних звуків і пам'яті для них, повторюваність тембрів на різних контролерах із сумісними синтезаторами. Недоліки – дуже мала кількість "благозвучних" тембрів у всьому можливому діапазоні звучань, дуже груба імітація звучання реальних інструментів.

#### **9.5 WT-синтез**

WT (Wave Table – таблиця хвиль) – відтворення заздалегідь записаних у цифровому виді звучань – семплів (samples). Інструменти з малою тривалістю звучання звичайно записуються цілком, а для інших може записуватися лише початок/кінець звуку і повторювана "середня" частина. Апаратний синтезатор дозволяє програвати семпли з різною швидкістю, подібним чином змінюючи висоту звуку. Звичайно використовується додаткова обробка звуку (модуляція, фільтрація, різні "оживляючі" ефекти і т.п.). Більшість контролерів містить убудований набір інструментів у ПЗП, деякі контролери дозволяють додатково завантажувати власні інструменти в ОЗП.

Переваги методу – висока реалістичність звучання класичних інструментів і простота одержання звуку. Недоліки – наявність твердого набору заздалегідь підготовлених тембрів, багато параметрів яких не можна змінювати в реальному часі, великі обсяги пам'яті для семплів, розходження в звучаннях через різні набори стандартних інструментів.

WT-синтезатор являє собою спеціалізований процесор, що має визначене число віртуальних звукових каналів (наприклад, 32). Кожен канал складається з генератора звуку, що вибирає відліки семплів із ПЗП і відтворює послідовно шість його фаз: Delay – тиша; Attack – зростання до максимуму; Hold – рівень не змінюється; Decay – значення спадає до рівня Sustain; до моменту відпускання ноти значення зберігає заданий рівень Sustain; Release – значення спадає до нуля. На додаток до цього на кожний з каналів можливе накладення звукових ефектів (луна, реверберація і т.д.).

За одну секунду процесор 44 тисячі разів (для 44 кГц) послідовно обробляє всі канали і формує для кожного голосу чергове цифрове значення амплітуди. Отримані в кожному такті вихідні відліки всіх каналів складаються і подаються на вихідний DAC (ЦАП).

#### Питання для самоконтролю

1. Звукові файли.
2. Дискретизація і квантування звукових сигналів.
3. Звуковий контролер комп'ютера.

## 10 ОСНОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СТАНЦІЇ КОСМЕК

У приміщенні, у якому буде розташовуватися станція, не повинно бути приладів, при роботі яких можуть створюватися перешкоди, що спотворюють прийнятий із супутника сигнал. Усі підключення і відключення необхідно робити **тільки** при виключеному приймачі станції і комп'ютері. Усі користувачі повинні бути обов'язково ознайомлені з цією вимогою.

Перед початком роботи з прийому супутникової інформації з приведених нижче адрес необхідно довідатися, які супутники в сузір'ї працюють у даний момент часу і їхні ефемериди:

Метеор – <http://sputnik.infospace.ru> ,

NOAA – <http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/status.html> .

### 10.1 Підключення станції

1. Зібрати й установити антену на даху в зручному місці так, щоб не було кутів закриття (**НЕОБХІДНО ОСОБЛИВУ УВАГУ ПРИДІЛИТИ ЗАХОДАМ БЕЗПЕКИ ПРИ УСТАНОВЦІ АНТЕНИ!**).

2. З'єднати провідником (рис. 10.1) роз'єм приймача «Земля» з корпусом комп'ютера (прикрутити до будь-якого гвинта на задній стінці).
3. Підключити кабель від антенного підсилювача до роз'єму приймача «Антенний вхід».
4. З'єднати кабелем роз'єм «Вихід audio» приймача з роз'ємом «Вхід лінії» (LINE IN) на звуковому контролері комп'ютера.
5. З'єднати кабелем роз'єм «Вихід порт RS232» приймача з портом COM1 чи COM2 комп'ютера.
6. Підключити блок живлення до приймача.

## 10.2 Включення станції

1. Підключити блок живлення до розетки живлення.
2. На задній панелі (рис. 10.1) уключити тумблер живлення приймача (тумблер повинний знаходитися у верхнім положенні). Короткочасно з'явиться звук у гучномовці і зникне, з'явиться індикація на дисплеї приймача (рис. 10.2), буде блимати знак сканування по каналах (зміна назви космічних апаратів і їхніх частот), буде індикація рівня сигналу і S-метра.
3. Ввімкнути гучномовець.
4. На задній панелі ввімкнути живлення антени (непрямим показником включення антенного підсилювача є збільшення рівня сигналу від 12-13 дБ до 16-18 дБ поза сеансом зв'язку і до 24-35 дБ під час сеансу.).



Рис. 10.1 – Зовнішній вигляд задньої панелі приймача



Рис. 10.2 – Елементи індикації приймача

5. Налаштуватися ручками керування на передній панелі приймача (рис. 10.3) на бажаний супутник.
6. Здійснювати прийом інформації із супутника.

### 10.3 Керування антеною

1. Уключити блок керування антеною (рис. 10.4). Займеться індикація включення блоку керування антеною.

2. Обертання антени здійснюється по годинниковій стрілці і проти годинниковій стрілки в межах  $\pm 90^\circ$ . Обмеження повороту антени здійснюють кінцеві вимикачі. При збільшенні кута повороту більш ніж на  $\pm 90^\circ$  відбувається відключення живильної напруги від електродвигуна й обертання припиняється.

3. При натисканні кнопки (червона - включення руху антени по годинниковій стрілці, зелена - включення руху антени проти годинникової стрілки) повинні одночасно горіти два індикатори включення руху антени й антена починає обертатися.

4. Якщо антена зупинилася на кінцевому вимикачі, то буде горіти тільки один індикатор включення руху антени (по годинниковій стрілці – червоний, проти годинникової стрілки – зелений). Для знімання її з кінцевого вимикача - натисніть іншу кнопку.



Рис. 10.3 – Зовнішній вигляд передньої панелі приймача



Рис. 10.4 – Елементи керування й індикації блоку керування антеною



## 10.4 Одержання і первинна обробка космічної гідрометеорологічної інформації за допомогою станції прийому супутникової інформації КОСМЕК

Опишемо типовий варіант послідовності операцій роботи з трьома основними програмами.

Починаємо роботу з програми WXtrack.

Визначаємося з терміном сеансу. Пошук термінів сеансів прийому інформації здійснюється:

У режимі World map

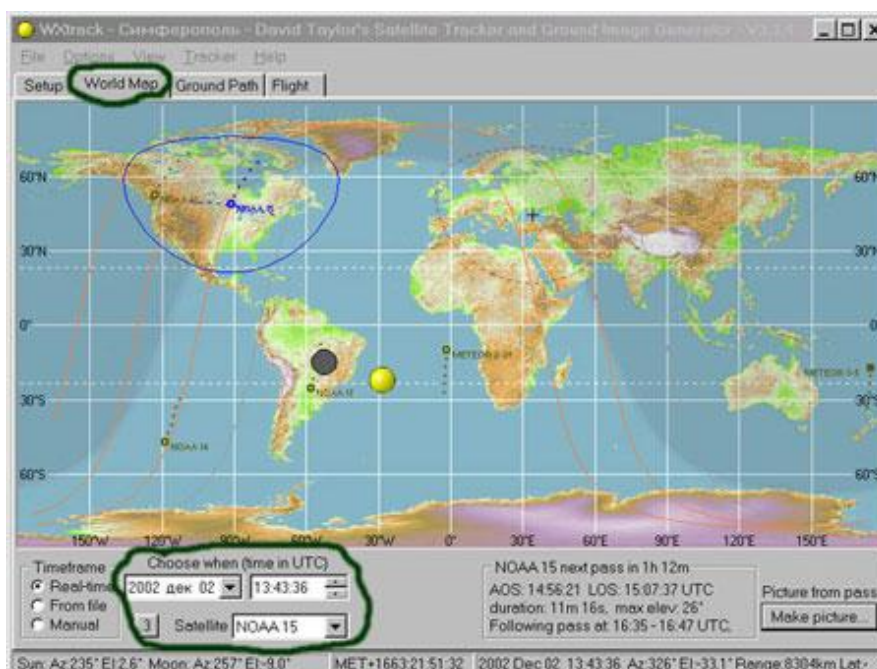


Рис.10.5 – Меню програми WXtrack

У режимі Setup

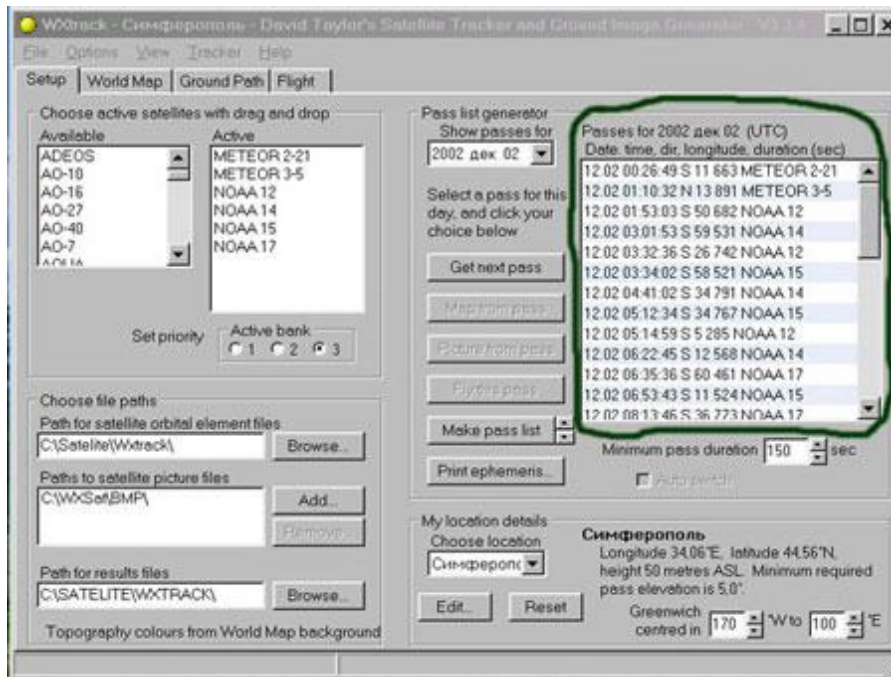


Рис.10.6 – Закладка Setup програми WXtrack

У режимі Setup\Print Ephemeris\Time Line

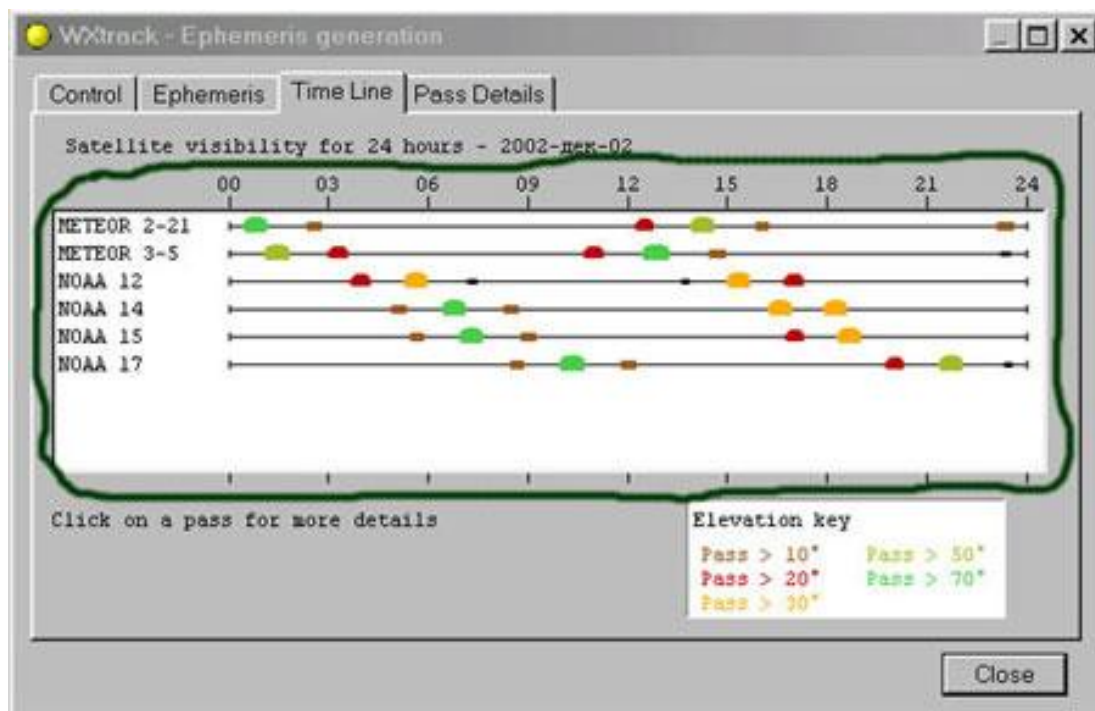


Рис.10.7 – Закладка Setup\Print Ephemeris\Time Line програми WXtrack

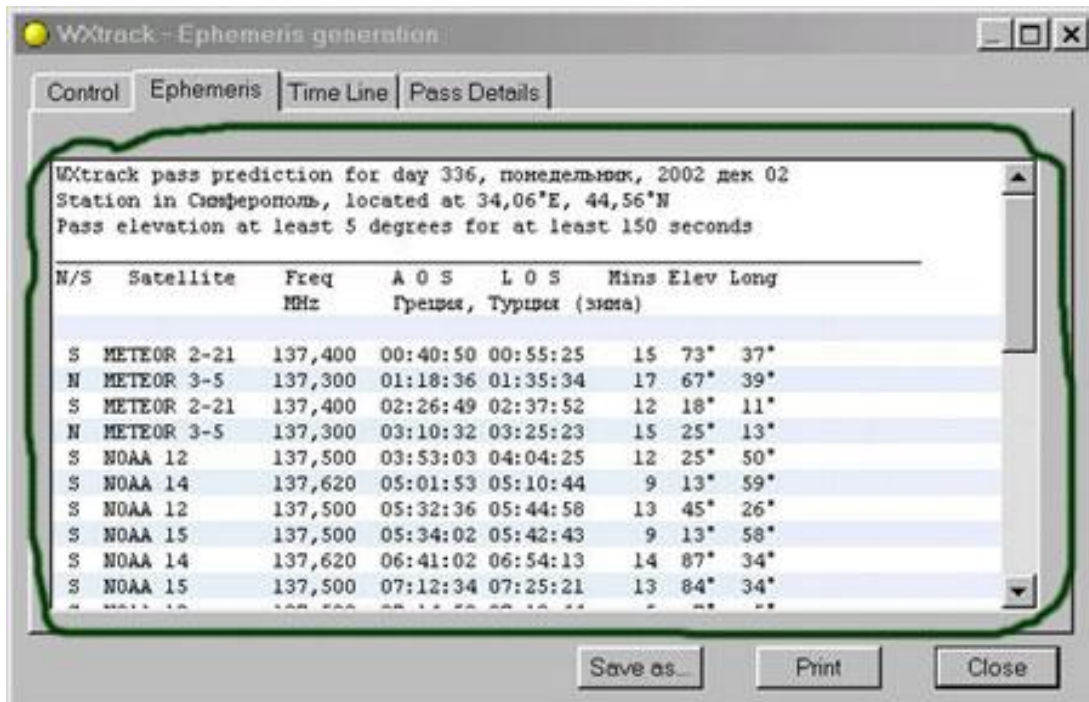


Рис.10.8 – Закладка Setup\Print Ephemeris\Ephemeris програми WXtrack

Завчасно перед сеансом уключити приймач і установити задану частоту (канал), згідно обраного для сеансу зв'язку космічного апарата.

Після появи перших сигналів, що вказують на те, що КА ввійшов у зону прийому, переходимо до роботи з програмою WXSat, що здійснює запис знімку.

Спочатку робимо установку на візуалізацію зображення на екрані. Для цього встановлюємо: через Parametrs\Decoding: "тип супутника": напрямок польоту.

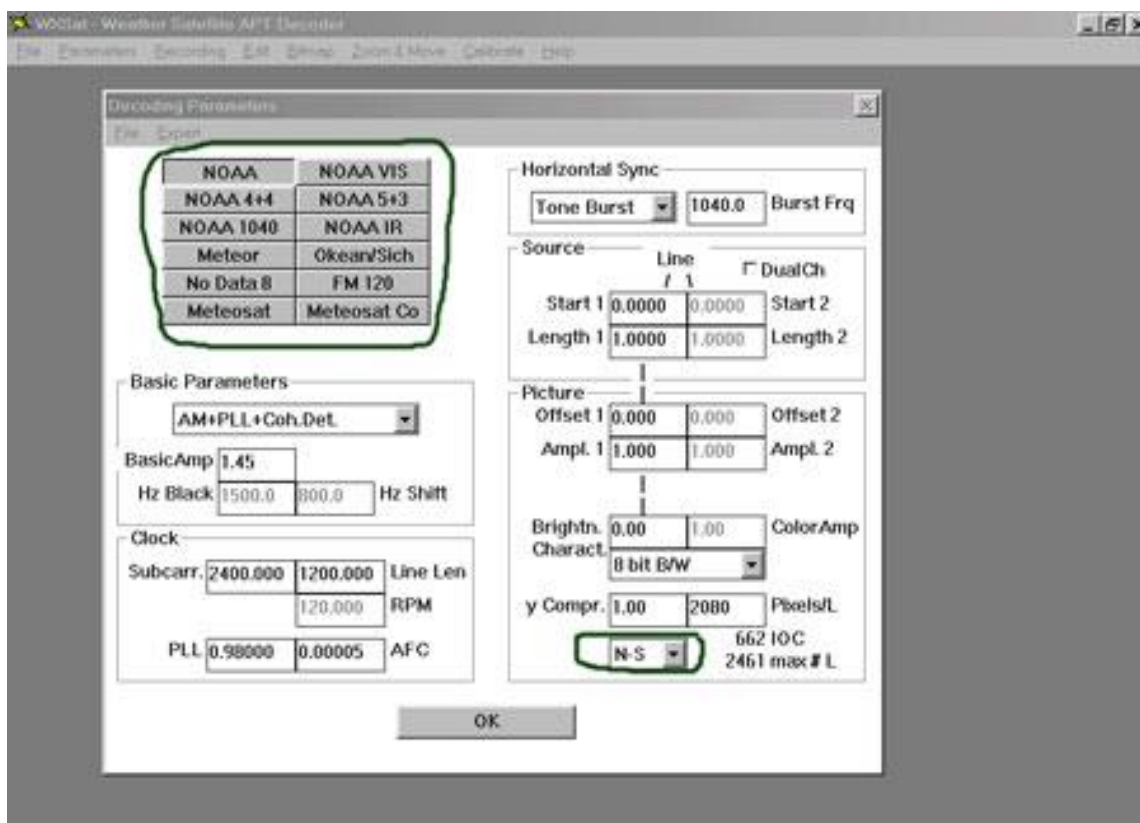


Рис.10.9 – Меню програми WXSAT

Через Recording\ Picture & Wave File починають запис wav-файлу. Старт запису піде після включення Recording\ Manual Sync. Зупинка запису буде після Recording\Stop. Запишеться файл temp.wav.

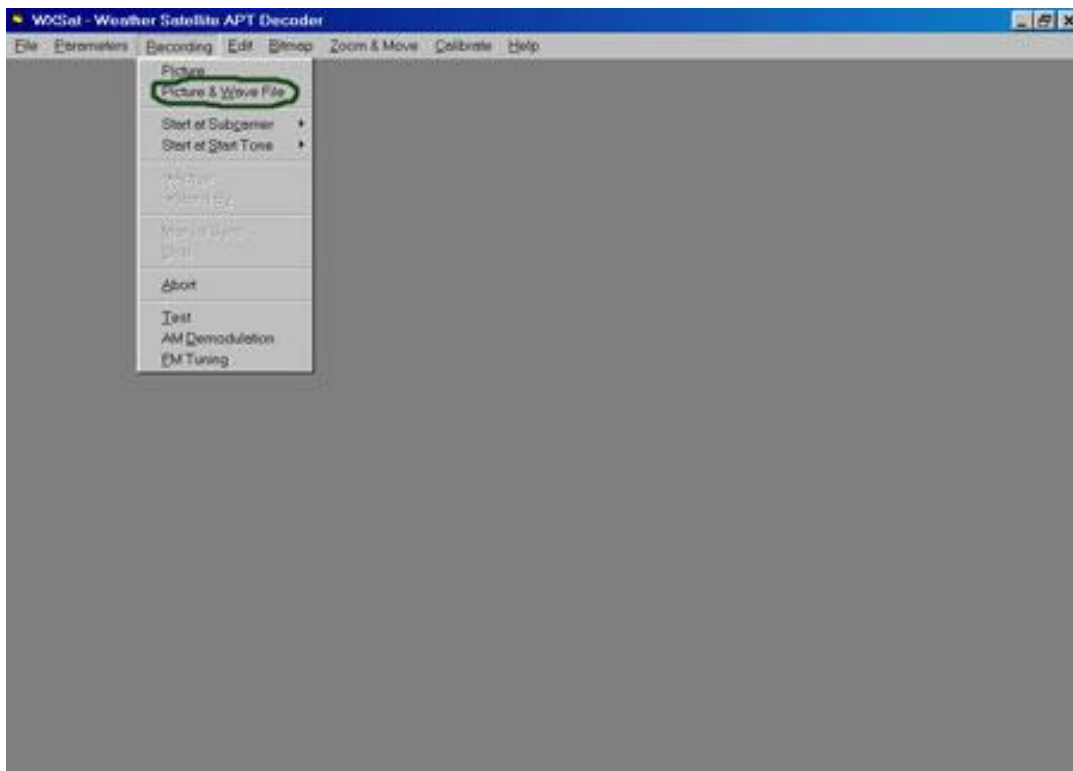


Рис.10.10 – Закладка Recording\ Picture & Wave File програми WXSat

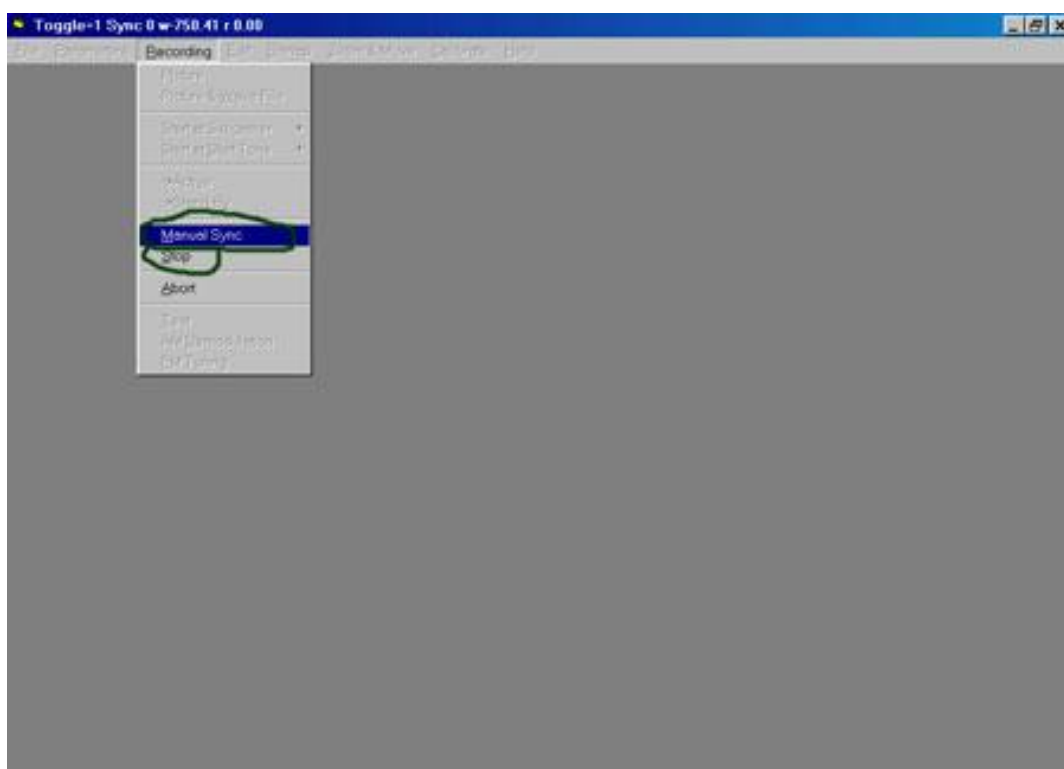


Рис.10.11 – Закладка Recording\ Manual Sync програми WXSat

Якщо під час сеансу виникають сильні шуми, то треба зупинити запис і повторити операції.

Записаний знімок найкраще дивитися в прив'язці до карт-основи. Для створення карт-основи повертаємося до програми WXtrack.

У режимі Setup натиснути клавішу Get next pass. У правому вікні відбудеться перестановка рядків розкладу сеансів для зручності пошуку КА, з яким недавно був сеанс зв'язку.

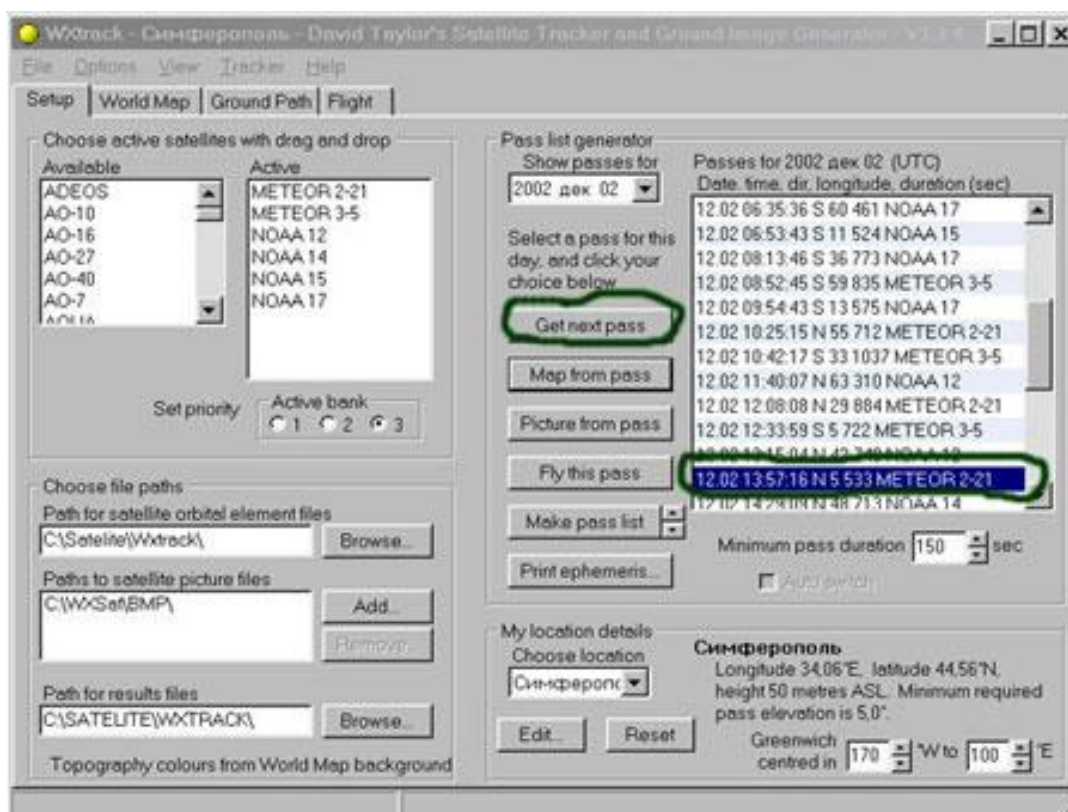


Рис.10.12 – Закладка Get next pass програми WXtrack

Після перебування цього сеансу в рядку, треба його виділити. Після виділення рядка треба натиснути клавішу Map from pass.

Відбудеться зміна "картинки" у режим World map, і на карті наш КА займе стартову позицію при вході в задану зону прийому. Зона прийому споконвічно задається в режимі Setup шляхом установки необхідного кута перебування КА над обрієм (від 1 до 25).

Натискаємо клавішу Make Picture.



Рис.10.13 – Закладка Make Picture програми WXtrack

Відбувається зміна "картинки" у режим Ground Path.

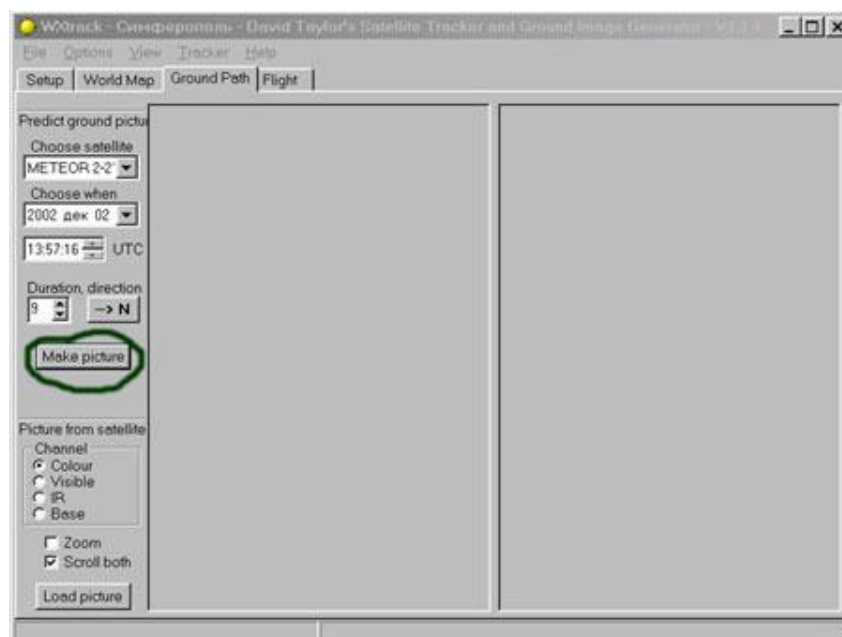


Рис.10.14 – Закладка Make Picture у режимі Ground Path програми WXtrack

Натискаємо клавішу Make Picture, і відбувається автоматичний запис "карт-файлів".

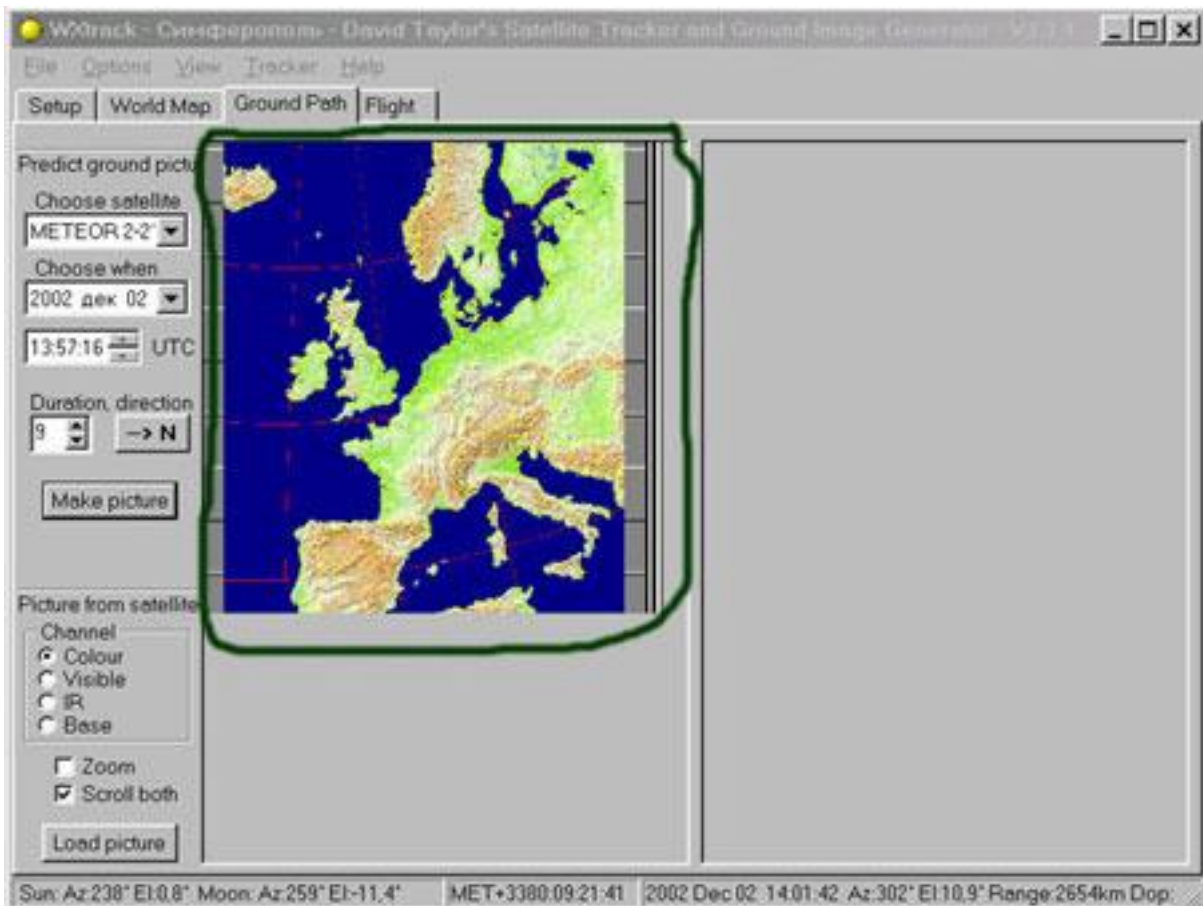


Рис.10.15 – Записаний "карт-файл".

За календарем знаходимо ім'я "витка" для перейменування файлу temp.wav. Ім'я складається з місяця, дати, годин, хвилин умовного початку сеансу зв'язку (моменту входження КА в задану зону прийому).

Перейменовуємо файл temp.wav. При розбіжності імен wav-файлу і "карт-файлів" буде надалі неправильний виклик "карт-основи" під знімок.

На останньому етапі користуємося програмою SatSignal.

Відкриваємо wav-файл із правильно записаним ім'ям. "Сітку" установлюємо шляхом переміщення її по космічному знімку спочатку "великими", а потім "маленькими" "трикутничками".

Зберігаємо потрібне зображення.



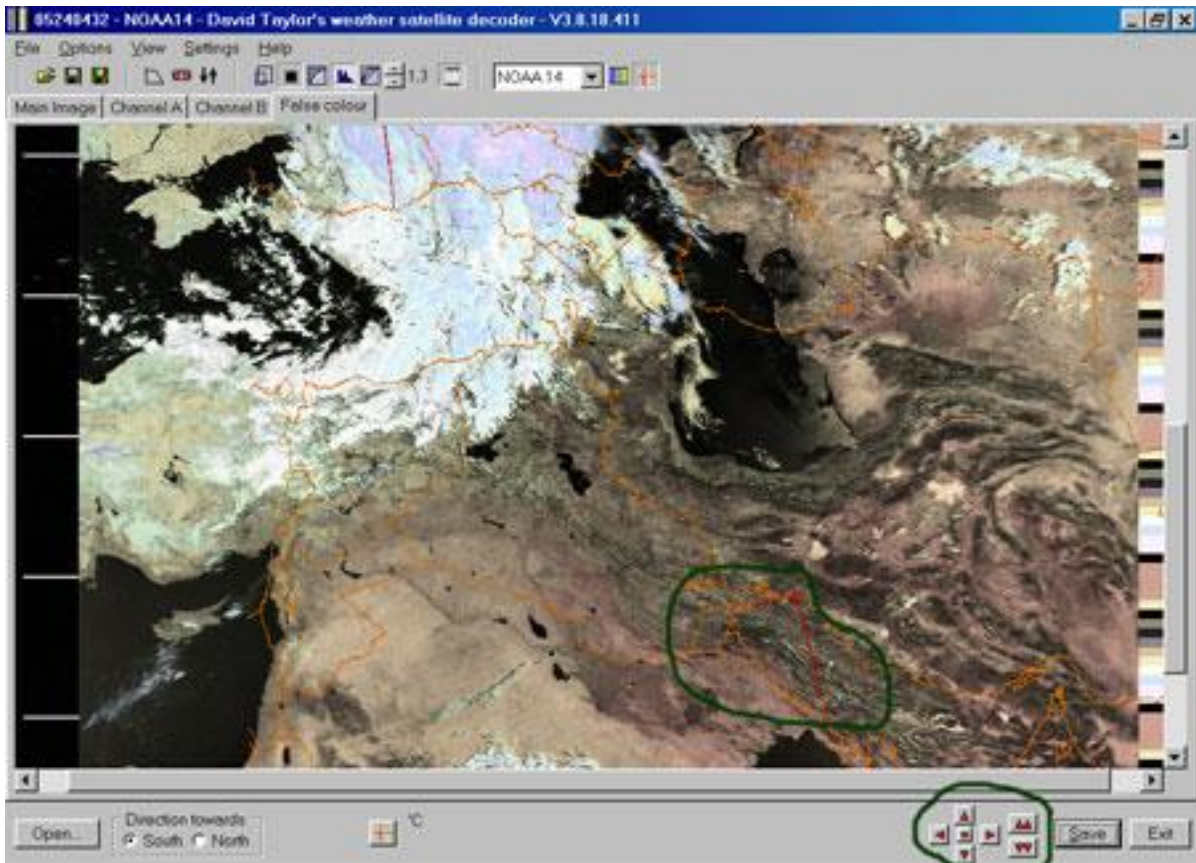


Рис.10.16 – Переміщення по космічному знімку картоснови

Для задовільного освоєння технології одержання й обробки знімків необхідно попрацювати щодня, сеансів по три, протягом місяця.

### Питання для самоконтролю

1. Підключення станції КОСМЕК.
2. Включення станції КОСМЕК.
3. Керування антеною станції КОСМЕК.
4. Первинна обробка одержаної космічної гідрометеорологічної інформації за допомогою станції КОСМЕК.

## ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

Активний метод зондування, 21

Аргумент перигею, 14

Багатозональна апаратура, 24

Багатозональний скануючий пристрій малого розрізняння МСУ-М, 38

Велика піввісь орбіти, 14

Глибина проникнення електромагнітної хвилі, 23

Детальність спостережень, 18

Дистанційне зондування навколишнього середовища, 19

Довгота висхідного вузла, 14

Ексцентриситет орбіти, 14, 16

Елементи орбіти, 13

Ефемериди, 12

Звуковий контролер, 69

Зона покриття космічного апарату, 57, 58

Інфрачервоний радіометр, 25

Кадр телеметрії, 47

Канал (формат) АРТ, 46, 48

- Канал (формат) HRPT, 46
- Клин телеметрії, 49
- Космічна гідрометеорологічна інформація, 27
- – – глобальність, 27
  - – – комплексність, 28
  - – – оперативність, 28
  - – – регулярність, 28
  - – – розрізнення даних на місцевості, 28
  - – – синхронність, 28
  - – – смуга захоплення (огляду), 29
  - – – точність, 29
  - – – тривимірність, 28
- Космічна система дистанційного зондування, 8
- Космічні знімки, 29
- Кутова відстань від вузла, 14
- Мікрохвильові дані, 36
- Нахил площини орбіти, 14
- Незбурений кеплерівський рух, 13
- Неперіодичний штучний супутник Землі, 17
- Орбіта метеорологічного штучного супутника Землі, 17
- – – – сонячно-синхронна, 18
  - – – – зворотна похила, 17
- Орбіта штучного супутника Землі, 15
- – – – екваторіальна, 16
  - – – – зворотна, 17

- – – – полюсна (полярна), 16
  - – – – похила, 16
  - – – – пряма, 17
  - – – – стаціонарна, 17
- Орбітальна площина, 13
- Пасивний метод зондування, 20
- Первинна обробка космічної гідрометеорологічної інформації, 75
- Періодичний штучний супутник Землі, 17
- Просторове розрізнення, 22
- Радіаційні дані, 34
- Радіолокаційна станція бічного огляду РЛСБО, 39
- Радіолокаційна станція із синтезованою апертурою, 22
- Радіометр AVHRR, 42
- Сканування, 9
- Скануючий НВЧ – радіометр РМ-0,8, 39
- Спектрометричні дані, 35
- Станція КОСМЭК, 54
- – антенна система, 59
  - – – – діаграма спрямованості, 60
  - – антенний підсилювач, 61
  - – блок керування антеною, 61
  - – прийомна частина, 63
- Ступінь ослаблення електромагнітного випромінювання середовищем, 23
- Телевізійна система, 24

Телефотометр, 24

Траєкторія супутника, 12

Фактори, що збурюють, 13

Цикл телеметрії, 49

Часовий параметр орбіти, 14, 15

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Герман М.А. Космические методы исследования в метеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1985.
2. Кондратьев К.Я., Покровский О.М. Космическая метеорология. – Л.: Недра, 1989.
3. Лазерное зондирование атмосферы из космоса – Л.: Гидрометеиздат, 1988.
4. Радиолокация поверхности Земли из космоса – Л.: Гидрометеиздат, 1990.
5. Герман М.А., Белов П.И., Назиров М. Лабораторный практикум по курсу: Космические методы исследования в метеорологии. – Л.: Изд. ЛПИ (ЛГМИ), 1981.
6. Герман М.А. Спутниковая метеорология. Основы космических методов исследования в метеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1975.
7. Кондратьев К.Я. Космическая дистанционная индикация облаков и осадков. – Л.: Гидрометеиздат, 1987.
8. Дистанционное зондирование в метеорологии, океанографии и гидрологии. Под ред. А. Крекнела – М.: Мир, 1987.

**Навчальне видання**

*Перелигін Борис Вікторович*

**ОДЕРЖАННЯ, ПЕРЕДАЧА, ПРИЙОМ І НАДАННЯ ЛОКАЦІЙНОЇ  
КОСМІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ**

Навчальний посібник

Підп. до друку	Формат	Папір
Умовн. друков. арк.	Тираж	Зам. №

Надруковано з готового оригінал-макета

---

**Одеський державний екологічний університет**  
65016, Одеса, вул. Львівська, 15

---