

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут телекомунікаційних систем

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра телекомунікацій

(повна назва кафедри)

До захисту допущено

В.о. завідувача кафедри

_____ Валерій ЯВІСЯ

(підпис)

“4” червня 2020_р.

Дипломна робота

на здобуття освітнього ступеня “бакалавр”

(назва ОС)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка,

(код і назва)

на тему: Оптимізація роботи телеметричної апаратури телекомунікаційних супутників

Виконав : студент IV курсу, групи ТМ-61

(шифр групи)

Шитова Наталія Володимирівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник Доцент кафедри ТК, к.т.н. Цуканов О.Ф.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент Доцент кафедри ТМІ, к.т.н. Новогрудська Р.Л.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут телекомунікаційних систем

(повна назва)

Кафедра телекомунікацій

(повна назва)

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

Валерій ЯВІСЯ

(підпис)

“22” січня 2020р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Шитовій Наталії Володимирівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Оптимізація роботи телеметричної апаратури телекомунікаційних супутників»

Керівник роботи Цуканов Олег Федорович, доцент кафедри, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вченезвання)

затверджені наказом по університету від 30 березня 2020 р. № 924 -с

2. Термін подання студентом роботи 4 червня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи: телекомунікаційний супутник з висотою орбіти 36000 км; орбіта екваторіальна; на борту вимірюється 2000 функціональних і сигнальних параметрів.

4. Зміст роботи:

- 1) Розглянути основні орбітальні характеристики телекомунікаційних супутників.
- 2) Проаналізувати структуру телеметричних комплексів.
- 3) Здійснити ретельний аналіз характеристик телеметричних систем.
- 4) Визначити оптимальний метод для обробки телеметричної інформації СМО.

5.Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо)

- 1) Тема предмет та об'єкт дослідження, завдання
- 2) Види та типи орбіт супутника.
- 3) Структура телеметричного комплексу.
- 4) Алгоритм телеметричної інформації.

6. Дата видачі завдання 3 грудня 2020 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз та підбір літературних джерел, проведення патентних досліджень з тематики дипломної роботи.	30.10.-25.12.19	
2	Обґрунтування актуальності теми роботи, мети та задач дослідження, об'єкту та предмету дослідження, практичної цінності роботи.	26.12-30.01.20	
3	Розробка математичного забезпечення обробки інформації телеметричних систем телекомунікаційних супутників.	30.01-28.02	
4	Підготовка пояснювальної записки 1 глава	14.03–21.03	
5	Підготовка пояснювальної записки 2 глава	22.03–26.03	
6	Підготовка пояснювальної записки 3 глава	27.03–09.04	
7	Підготовка доповіді на захист	10.03–23.05.20	

Студент

_____ Шитова Н.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ к.т.н. Цуканов О.Ф.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Текстова частина бакалаврської атестаційної роботи: 65 с., 13 рис., 2 табл. та 15 джерел.

Мета роботи: вдосконалення передачі телеметричної інформації систем супутникового зв'язку, з метою підвищення рівня інформатизації та надання сучасних послуг зв'язку.

В даній роботі розглядаються основні системи супутникового зв'язку, структури телеметричної апаратури. Також наведено особливості методів оптимізації телеметричної інформації, та методи його обробки.

Завдання роботи: 1) Збір даних та аналіз існуючих систем; 2) Розглянути системи та особливості супутникового зв'язку; 3) Дослідження особливостей характеристик телеметричної апаратури; 4) Розглянути методики оптимізації передачі даних по супутниковому зв'язку; 5) Розрахункова частина.

Новизна: в ході виконання роботи були розглянуті існуючі системи супутникового зв'язку та проаналізовано ефективність методів оптимізації передачі інформації.

Структура роботи. Робота складається із реферату, змісту, списку умовних скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновків до кожного розділу, загального висновку та списку використаних джерел.

ABSTRACT

The work includes 65 pages, 13 pictures, 2 tables and 15 information sources.

The purpose of the diploma: analysis and improvement of telemetry transmission of satellite communication systems, in order to increase the level of informatization and provision of modern communication services.

This paper considers the main systems of satellite communication, the structure of telemetry equipment. The peculiarities of telemetry information optimization methods and methods of its processing are also given.

Tasks: 1) Data collection and analysis of existing systems; 2) To consider systems and features of satellite communication; 3) Research of features of characteristics of the telemetry equipment; 4) To consider methods of optimization of data transmission by satellite; 5) The estimated part.

Novelty: in the course of the work, the existing satellite communication systems were considered and the efficiency of information transmission optimization methods was analyzed.

Work structure. The work consists of an abstract, table of contents, a list of abbreviations, an introduction, four sections, conclusions to each section, a general conclusion and a list of sources used.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ	7
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	9
1.1 Загальні відомості про супутниковий зв'язок	9
1.2 Відомості про параметри супутників	12
1.2.1 Класифікація орбіт штучних супутників землі по нахиленню	14
1.2.2 Класифікація супутників за функціональним призначенням	18
1.2.3 Класифікація геостаціонарних супутників по орбітальному руху	20
1.3 Орбіти поховання штучних супутників землі	25
1.4 Класифікації типів штучних супутників землі	27
Висновки до першого розділу	29
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕЛЕМЕТРИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТЕЛЕМЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СУПУТНИКІВ	30
2.1 Структурна схема телемеричної апаратури	30
2.2 Характеристики телеметричної інформації	32
2.2 Структура командного центру зв'язку із супутником	36
Висновки до другого розділу	39
РОЗДІЛ 3. АЛГОРИТМ ОБРОБКИ ТЕЛЕМЕТРИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТКС	40
3.1 Аналіз сучасних телеметричних систем.	40
3.2 Відомості склад телеметричної інформації	55
3.3 Оптимізації обробки телеметричної інформації	58
Висновки до третього розділу	63
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	64
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	66

					КПІ ім. Ігоря Сікорського ТМ-61.2020.ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Шитова Н.В.			Оптимізація роботи телеметричної апаратури телекомунікаційних супутників	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Цуканов О.Ф.						
Реценз.		Новогрудська Р.Л.						
Н. Контр.		Петрова						
Затверд.		Явіся В.С.						

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

- АСУ – автоматизована система управління
- АФП – антенно-фідерний пристрій
- БІТС – бортова інформаційно-телеметрична система
- БКУ – бортовий комплекс управління
- БТМС – бортова телеметрична система
- ГЕО – геостаціонарна орбіта
- ЕМС – електромагнітна сумісність
- ЗС – земна станція
- ІТС – інформаційно-телеметрична система
- КА – космічний апарат
- КВП – контрольно-вимірювальний пристрій
- КС – космічна станція
- НАКУ – наземний автоматизований комплекс управління
- НКУ – наземний комплекс управління
- ОБС – орбітальні бази-станції
- ОЛ – орбітальна лабораторія
- ОПС – орбітальна пілотована станція
- ОС – орбітальні супутники
- ПРС – приймально-реєструюча система
- РР – регламент радіозв'язку
- РСЧ – радіочастотний спектр
- РТМК – радіотелеметричний комплекс
- РТМС – радіотелеметрична система
- СЗО – середня земна орбіта
- ССЗ – супутникові системи зв'язку
- ССО – сонячно-синхронна орбіта
- ЦУ – центр управління
- ШСЗ – штучний супутник Землі

ВСТУП

Не дивлячись на те, що телеметрія є однією з молодих та перспективних галузей науки і техніки, одним з найважливіших елементів сучасних супутникових радіотехнічних комплексів є телеметричні системи. За допомогою радіотелеметричних систем відбувається збір, аналізування, зберігання, передача та обробка телеметричної інформації. Це дозволяє отримувати дані про технічний стан бортових систем космічних апаратів. Необхідність неперервного контролю бортових систем обумовлює велику надмірність ТМІ, переданої по зворотньому каналу радіоліній. Однією з вимог, що пред'являються до ТМІ, є її висока вірогідність, яка найбільшою мірою залежить від надійності бортової телеметричної апаратури.

У даній роботі представлено загальні відомості про супутникові системи радіозв'язку, загальна інформація щодо телеметричних систем, розглянуті існуючі методи оптимізації передачі телеметричної інформації та проведено їх аналіз. Такий аналіз надає змогу краще ознайомитися з конкретним методом покращення якості та ефективності обробки телеметричної інформації у командних центрах зв'язку з космічними апаратами, з метою оперативного реагування на негативні зміни у поведінці штучних супутників Землі.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Загальні відомості про супутниковий зв'язок

Потреби людства передавати по каналах зв'язку великі потоки інформації призвели до того, що для радіозв'язку довелося використовувати високочастотні сигнали. Такі сигнали, на жаль, поширюються тільки по прямій, в межах прямої видимості. Тому при спорудженні ліній радіозв'язку довелося розміщувати приймально-передавальні станції на високих опорах, а потім, якщо видимість не досягалася, – встановлювати проміжні приймально-передавальні ретранслятори.

Принцип супутникових систем зв'язку та мовлення полягає в розташуванні додаткового ретранслятора системи зв'язку на штучному супутнику Землі (ШСЗ) (рис. 1.1). Таке рішення створює ряд істотних переваг. Виведений на досить високу орбіту супутник, на відміну від літака, рухається в безповітряному просторі за інерцією без витрат енергії на це рух. Енергопостачання бортового ретранслятора і інших систем супутника здійснюється від сонячних батарей, які знаходяться майже весь час під променями Сонця. На високій орбіті супутник «бачить» величезну територію – близько однієї третини поверхні Землі, тому через нього на цій території можуть безпосередньо зв'язатися будь-які земні станції (ЗС). Трьох ШСЗ практично досить для створення глобальної системи зв'язку. При цьому сучасні технічні засоби дозволяють сформувати на супутнику вузький промінь, щоб при необхідності сконцентрувати енергію передавача супутника на обмеженій площі. Це дозволяє ефективно використовувати супутниковий зв'язок для обслуговування невеликих зон і/або застосовувати невеликі земні станції з антенами малого розміру.

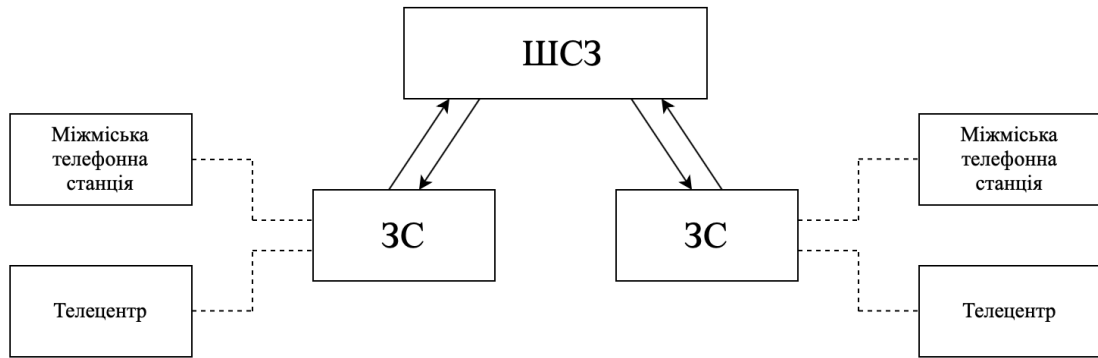


Рис.1.1. Супутникова лінія

Типові варіанти реалізації ССЗ, призначені для надання різних послуг і виконання різних функцій в складі глобальної мережі електрозв'язку, в даний час в достатній мірі визначилися. Ці варіанти такі:

1. Системи для доставки та обміну телевізійними програмами і програмами звукового мовлення між телевізійними центрами, кабельними мережами як в межах країни, так і між країнами. В даний час ці завдання в переважній більшості випадків здійснюються через супутник, внаслідок оперативності, надійності, невисокої вартості.

2. Системи безпосереднього телевізійного і звукового мовлення на недорогі фіксовані прийомні установки.

3. Системи для надання послуг Інтернету як в якості магістральних ліній між вузлами мережі, так і в якості засобу безпосереднього з'єднання з абонентом. Остання функція отримує особливого поширення в районах, які не забезпечені наземними мережами або де таке забезпечення економічно недоцільно, і може поєднуватися з безпосереднім телевізійним мовленням.

4. Мережі зв'язку з малими фіксованими необслуговуваними земними станціями, так званими станціями VSAT.

5. Системи для безпосереднього зв'язку з рухомими об'єктами.

6. Системи безпосереднього звукового мовлення на рухомі об'єкти, в деяких системах поєднується з телевізійним мовленням, Інтернетом і супутникової радіонавігацією.

7. Системи супутникового збору новин, які здійснюють телерепортажі з місць актуальних подій за допомогою перевезених станцій, так званий супутниковий збір новин.

8. Магістральні і внутрізонові лінії зв'язку для передачі всіх видів інформації; з цієї функції починався розвиток супутникових систем зв'язку, проте зараз роль таких зв'язків невелика через переваг оптоволоконних ліній і зберігається в ряді випадків в якості гнучкого резерву наземних ліній.

Надзвичайно напружена ситуація з зайнятістю радіочастотного спектру (РЧС) призвела до того, що всі смуги частот, розподілені Регламентом радіозв'язку для систем ССЗ, надані також іншим службам радіозв'язку, і існує необхідність спільної роботи з цими службами без неприйнятних взаємних перешкодам – забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС).

Наведемо визначення основних термінів, що будуть використовуватися керуючись Міжнародним регламентом радіозв'язку (РР), Регламентом радіозв'язку і сформованою практикою застосування термінів (допускаючи деякі відхилення від офіційного тексту РР з метою зробити визначення більш простими і не настільки формальними).

Космічна радіозв'язок – радіозв'язок, при якій використовуються космічні станції.

Космічна станція (КС) – станція, розташована на об'єкті, який знаходиться за межами основної частини атмосфери Землі, наприклад на ШСЗ.

Земна станція (ЗС) – станція, розташована на земній поверхні і призначена для зв'язку з космічними станціями або з іншими земними станціями за допомогою космічних станцій. На відміну від земних станцій станції наземних систем радіозв'язку називаються наземними станціями.

Супутниковий зв'язок – зв'язок між земними станціями через космічні станції. Таким чином, супутниковий зв'язок - окремий випадок космічної радіозв'язку, призначений для надання послуг, аналогічних наземним системам зв'язку або мовлення. Супутниковий зв'язок може бути застосований

для створення автономних мереж зв'язку або мовлення або в якості складової частини наземних мереж зв'язку.

Супутникова лінія – лінія зв'язку між земними станціями з допомогою на гою ШСЗ, включає в себе ділянку Земля-космос (лінія вгору) і космос-Земля (лінія вниз) (див. Рис. 1.1). Земні станції з'єднуються лініями зв'язку з джерелами і споживачами програм телебачення, звукового мовлення, іншої інформації, з міжміськими телефонними станціями, вузлами Інтернету або встановлюються безпосередньо у джерела і споживача програм.

Супутникове мовлення – це передача радіомовних програм (телевізійних і звукових) від передавальних земних станцій до прийомних через космічну станцію. Супутникове мовлення характеризується тим, що повідомлення передаються тільки в одному напрямку і прийом цих повідомлень здійснюється великим числом станцій.

1.2 Відомості про параметри супутників

Якщо прийняти, що Земля – ідеальна куля і що на супутник діє тільки тяжіння Землі, то рух супутника буде підкорятися відомим законам Кеплера. Орбіта має форму еліпса, в одному з фокусів якого знаходиться Земля (Рис.1.2); площина орбіти проходить через центр Землі і залишається нерухомою. Через те, що рух відбувається в безповітряному просторі, тертя супутник не відчуває, на досить високих орбітах рух супутника буде тривати сотні років. Практично термін служби супутника визначається довговічністю електронного обладнання зв'язку і управління та сонячних батарей, або обмеженим запасом палива для двигунів, періодично коригувальних відхилення супутника від правильної орбіти, що відбувається через вплив інших небесних тіл, несферичності Землі і т.п. При видаленні від Землі швидкість руху супутника падає (період обертання збільшується), при наближенні до Землі швидкість руху зростає.

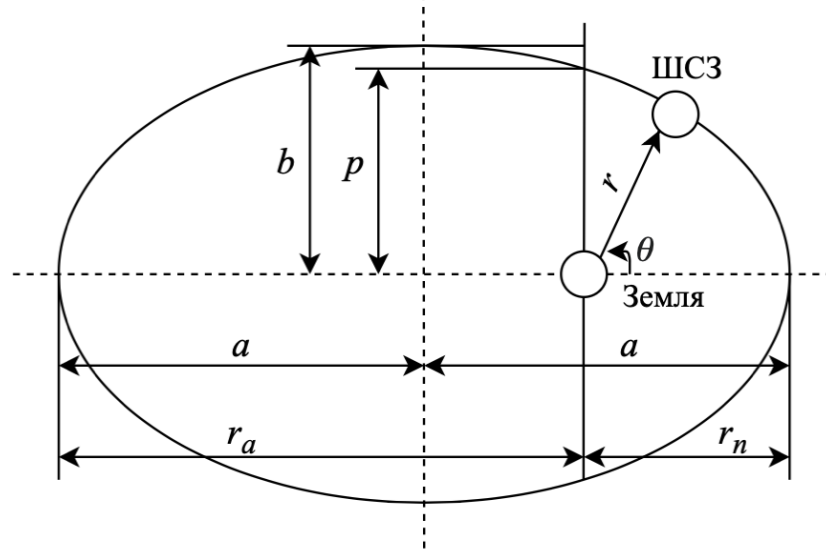


Рис.1.2. Орбіта ШСЗ та її основні параметри

Рівняння еліптичної орбіти супутника в полярній системі координат:

$$(1.1)$$

де r – модуль радіуса-вектора, тобто відстань від супутника до центру Землі; θ – кутова координата радіуса-вектора (справжня аномалія); e – ексцентриситет орбіти; $p = b^2/a = a(1-e^2)$ – фокальний параметр; a , b – велика на мала піввісь еліпса.

Ексцентриситет може мати значення в інтервалі $0 \leq e \leq 1$. При $e = 0$ еліпс перетворюється в коло, фокуси зливаються з центром, $r = p$. Точка орбіти, що відповідає мінімальному відстані до центру Землі, називається перигеєм орбіти ($r = r_n$), максимальному – апогеєм ($r = r_a$). Параметри еліптичної орбіти пов'язані між собою співвідношеннями

$$\begin{aligned} a &= (r_a + r_n)/2; \quad b^2 = a^2(1-e^2); \\ e &= (a^2 - b^2)^{1/2}/a = (r_a - r_n)/2a; \\ r_a &= p/(1-e); \quad r_n = p(1+e). \end{aligned}$$

Відстань між фокусами і центром еліпса складає ae , тобто пропорційно ексцентриситету. Висота супутника над поверхнею Землі

$$H = r - R,$$

де R – радіус Землі.

Лінія перетину площини орбіти з площиною екватора називається лінією вузлів, кут і між площиною орбіти і площиною екватора – нахилом орбіти.

Формула потенціалу центрального гравітаційного поля:

$$U = fM/r$$

де – $f = 6,672 \cdot 10^{11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг} \cdot \text{сек}^2$ – гравітаційна постійна тяжіння; $M = 5,947 \cdot 10^{24} \text{ кг}$ – маса Землі; r – відстань від центру Землі до точки, в котрій обчислюється гравітаційний потенціал.

Величина $\mu = fM = 398\,600,5 \text{ (км}^3/\text{сек}^2)$ називається гравітаційною постійною Землі. З потенціалом поля пов'язана сила, яка діє на СЗ в польоті. Визначення параметрів невимушеного руху матеріальної точки (СЗ) в гравітаційному полі центрального тіла (Землі) називаються задачею двох тіл.

1.2.1 Класифікація орбіт штучних супутників землі по нахилу

У загальному випадку нахил орбіти ШСЗ лежить в діапазоні $0^\circ < \text{«і»} < 90^\circ$ (див. Рис.1.3). Залежно від значення нахилу і висоти ШСЗ над поверхнею Землі, положення областей його видимості мають різні границі широти, а в залежності від висоти над поверхнею – і різний радіус даних областей. Чим більший нахил, тим на більш північних широтах може бути помітен супутник, а чим він вищий – тим ширше область видимості. Отже, спосіб «і» і велика піввісь «а» визначають зміщенні по поверхні Землі області видимості ШСЗ та її ширину [14].

У загальному випадку параметри орбіти будуть удосконалювати в залежності від способу «і», велика піввісь «а» і ексцентриситету «е».

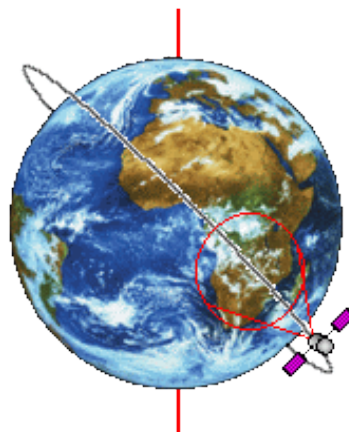


Рис.1.3. Загальний випадок орбіти супутника з нахилом $0^\circ < i < 90^\circ$.

Екваторіальна орбіта – крайній випадок орбіти, коли нахил « i » знаходиться на 0° (див. Рис. 4). В цьому випадку прецесія і поворот орбіти будуть максимальні – до 10° /добу і до 20° /добу відповідно. Ширина області видимості супутника, яка розташована впродовж екватора, установлюється його висотою над поверхнею Землі. Орбіти з малим нахилом « i » часто називають «близько екваторіальними».

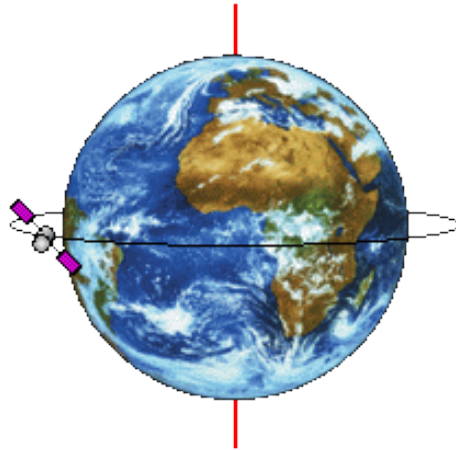


Рис.1.4. Екваторіальна орбіта

Полярна орбіта – інший граничний випадок орбіти, коли нахил « i » знаходиться на 90° . В даному випадку прецесія орбіти відсутня, а поворот орбіти відбувається у той бік, який протилежний щодо обертання ШСЗ, та не перевищує 5° /добу. Подібний полярний ШСЗ поступово проходить над усіма ділянками поверхні Землі. Ширина області видимості супутника з'ясовується його висотою над поверхнею Землі, але супутник так чи інакше можна побачити з будь-якої точки. Орбіти з нахилом « i », близьким до 90° , визначають «приполярними».

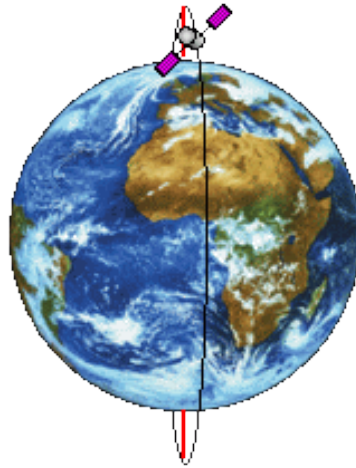


Рис.1.5. Полярна орбіта

Сонячно-синхронна орбіта (ССО) – винятковий вид орбіти, який часто використовується супутниками, які виробляють фотозйомку поверхні Землі. Являє собою орбіту з такими параметрами, що супутник проходить над будь-якою точкою земної поверхні приблизно в один і той же місцевий сонячний час. Рух такого супутника синхронізовано з рухом лінії термінатора по поверхні Землі – за рахунок цього супутник може летіти завжди над кордоном освітленій і неосвітленій сонцем території, або завжди в освітленій області, або навпаки – завжди в нічний, причому умови освітленості при прольоті над однією і тією ж точкою Землі завжди однакові. Для отримання цього ефекту орбіта повинна прецесувати в сторону, зворотню до обертання Землі (іншими словами на схід) на 360° в рік, щоб зрівноважувати обертання Землі навколо Сонця. Такі умови виконуються тільки для деякого діапазону висот орбіт і нахилів – здебільшого, це висоти 600-800 км і нахил «і» має бути близько 98° , тобто ШСЗ на сонячно-синхронних орбітах мають зворотний рух (див. Рис. 6). При збільшенні висоти польоту ШСЗ спосіб має збільшуватися, через що він не буде пролітати над полярними районами. Здебільшого, сонячно-синхронні орбіти близькі до кругових, але може бути і помітна еліптичність.

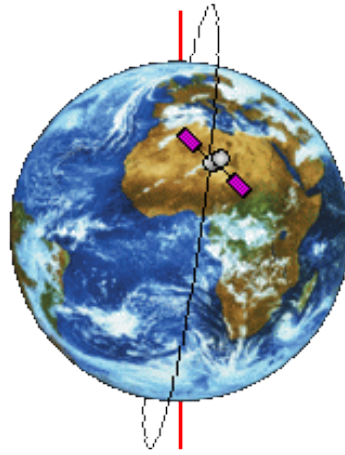


Рис.1.6. Сонячносинхронна орбіта

У загальному випадку необхідне для сонячної-синхронної орбіти спосіб іss можна обчислити за формулою (1.2):

$$I_{ss}[\text{°}] = \arccos(-4,755411 \cdot 10^{-15} \cdot (1-e) \cdot (a[\text{км}])^{7/2}), \quad (1.2)$$

де «e» - ексцентриситет орбіти ШСЗ, «a» - велика піввісь орбіти ШСЗ в кілометрах ($a = h + R_3$, «h» - перігейна відстань до поверхні Землі, « R_3 » = 6371 км - радіус Землі) .

На Рис.1.7 представлений графік необхідного способу орбіти ШСЗ, щоб вона була сонячно-синхронна – для різних значень ексцентриситету «e» і перігейної висоти «h» ШСЗ над поверхнею Землі.

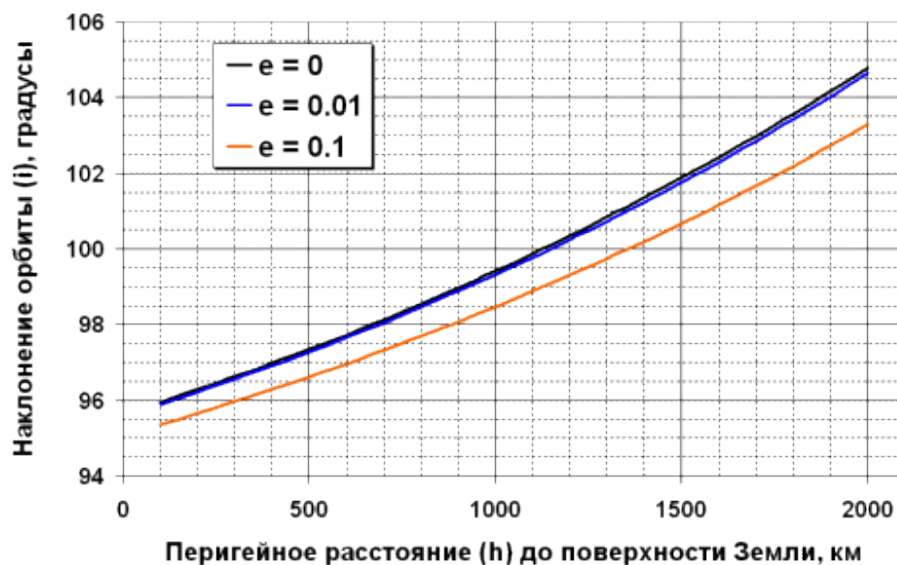


Рисунок 1.7. Необхідний нахил орбіти ШСЗ для сонячно-синхронної орбіти в залежності від величини перігейної відстані «h» до поверхні Землі; «e» ексцентриситет орбіти ШСЗ

Через вплив збурень космічний апарат поступово виходить з режиму синхронізації, через що він періодично потребує корекції своєї орбіти за допомогою двигунів

1.2.2 Класифікація супутників за функціональним призначенням

Науково-дослідні ШСЗ. Науково-дослідні супутники призначаються для досліджень Місяця, планет Сонячної системи та навколоземного і міжпланетного космічного простору, для проведення різного роду експериментів в космічному просторі наукового та прикладного значення, для відпрацювання конструкції окремих систем, вузлів і апаратури нових, більш складних СЗ, науково-дослідні СЗ можуть бути пілотованими і автоматичними [13].

До *пілотованих науково-дослідним СЗ* відносяться:

а) орбітальні супутники (ОС), орбітальні лабораторії (ОЛ), орбітальні пілотовані станції (ОПС) і орбітальні бази-станції (ОБС), призначені для вивчення навколоземного космічного простору;

б) міжпланетні кораблі, міжпланетні і припланетні орбітальні станції, призначені для вивчення космічного простору, Місяця і планет Сонячної системи.

До *автоматичних науково-дослідним СЗ* відносяться:

а) ШСЗ на різних орбітах, автоматичні орбітальні лабораторії, орбітальні станції, призначені для вивчення верхніх шарів атмосфери і навколоземного космічного простору;

б) автоматичні міжпланетні станції (АМС), штучні супутники Місяця, Марса та інших планет, посадочні модулі і планетоходи, призначені для вивчення космічного простору і планет Сонячної системи.

Метеорологічні ШСЗ. Метеорологічні ШСЗ (метеосупутники) призначені для регулярної передачі телевізійних зображень хмарного і льодового покриву Землі на наземні станції. На ШСЗ також встановлюються датчики радіаційних випромінювань Землі і хмарного покриву, що працюють

в різних діапазонах частот і інші прилади для аналізу метеорологічних умов. Отримана від метеосупутників інформація використовується для аналізу атмосферних процесів і прогнозів погоди.

По телевізійним і інфрачервоним знімкам освітленої та тіньової сторін Землі проводиться аналіз хмарності (визначення її форм, структури і кількості). Ця та інша інформація, що отримується з метеосупутників, дозволяє складати оперативні метеорологічні карти хмарного, льодового і снігового покривів, виявляти зародження ураганів і визначати напрямки і швидкість їх поширення, розрізняти тип і етапи розвитку погодних умов, виявляти струменеві потоки в атмосфері, місцеві метеорологічні явища, досліджувати тепловий баланс Землі, визначати температуру хмарного покриву, поверхні суші і океану.

Навігаційні ШСЗ. Навігаційні ШСЗ служать для навігації рухомих об'єктів.

"Космос" на орбіти, близькі до полярним, почала функціонувати система "Цикада", яка забезпечувала вирішення навігаційних завдань для морських судів. Вона в будь-який час доби незалежно від погоди спільно з наземними контрольно-вимірвальними центрами і апаратурою "Шхуна", що розміщується на судах, з 1978 р після запуску кількох ШСЗ серії дозволяє визначати координати плавучих засобів з середньоквадратичною помилкою 80...100 м. При цьому економиться 7...8% ходового часу за рахунок вибору оптимальних суднових маршрутів. В даний час функціонує глобальна супутникова система (ГЛОНАСС) повний склад, якої повинен включати 24 ШСЗ.

У 1995 році вироблено розгортання КНС "ГЛОНАСС", яка дозволяє необмеженому числу споживачів в будь-якій точці Землі, повітряного і космічного простору незалежно від метеоумов з високою точністю визначати свої координати, швидкість руху і точний час.

Орбітальне угруповання системи повинна складатися з 24 супутників ГЛОНАСС, що знаходяться на кругових орбітах з висотою близько 19100 км,

нахилом 64,8 градуса і періодом обігу 11 годині 15 хвилин в трьох орбітальних площинах. Орбітальні площини рознесені по довготі на 120 градусів, в кожній площині розміщуються по 8 супутників з рівномірний ним зрушенням по широті на 45 градусів.

Геодезичні ШСЗ. Геодезичні ШСЗ призначені для вирішення геометричних і динамічних (фізичних) задач геодезії.

Геометричні завдання зводяться до визначення положення точок на земній поверхні і встановлення точних геодезичних зв'язків між континентами і відокремленими об'єктами (наприклад, островами) з метою приведення їх до єдиної системи координат, прив'язки з високою точністю окремих пунктів до мереж тріангуляції (створення глобальної геодезичної мережі і її ущільнення), визначення точних координат окремих пунктів на земній поверхні, забезпечення картографування.

Динамічні задачі зводяться до уточнення форми, розмірів і гравітаційного поля Землі, встановлення її істинної форми, визначення потенціалів гравітаційного поля і гравітаційних аномалій і до встановлення законів їх зміни. Так, за допомогою обробки орбітальних вимірювань в даний час визначені коефіцієнти при членах розкладання в ряд гравітаційного потенціалу Землі до 14-го порядку.

1.2.3 Класифікація геостационарних супутників по орбітальному руху

Після запуску супутник найчастіше розміщують на одній з декількох орбіт навколо Землі - або він може бути відправлений у міжпланетарну подорож, це означає, що він більше не обертається навколо Землі, а натомість обертається навколо Сонця до моменту його прибуття призначення, як Марс або Юпітер.

Існує багато факторів, які вирішують, яку орбіту найкраще використовувати для супутника, залежно від того, що супутник призначений для досягнення.

Геостационарна орбіта (ГЕО). Супутники на геостационарній орбіті обходять Землю над екватором із заходу на схід за обертанням Землі - займаючи 23 години 56 хвилин і 4 секунди - подорожуючи з точно такою ж швидкістю, як Земля. Це робить супутники в ГЕО, здається, «нерухомими» над фіксованою позицією. Щоб ідеально відповідати обертанню Землі, швидкість супутників ГЕО повинна бути близько 3 км в секунду на висоті 35 786 км. Це набагато далі від поверхні Землі порівняно з багатьма супутниками.

ГЕО використовують супутники, яким потрібно постійно перебувати над одним конкретним місцем над Землею, наприклад, супутники телекомунікацій. Таким чином, антену на Землі можна зафіксувати, щоб вона завжди залишалася у напрямку до супутника, не рухаючись. Він також може використовуватися супутниками моніторингу погоди, через те, що вони можуть постійно спостерігати за окремими ділянками, щоб побачити, як виникають там погодні тенденції.

Супутники в ГЕО охоплюють великий ареал Землі, тому лише три супутники, що мають однаковий простір, можуть забезпечити майже глобальне покриття. Це тому, що коли супутник знаходиться далеко від Землі, він може охоплювати великі ділянки одразу. Це схоже на те, що ви можете бачити більше карти з метра в порівнянні з тим, якби ви були на сантиметр від неї. Отже, щоб побачити всю Землю одразу з ГЕО, потрібно набагато менше супутників, ніж на меншій висоті.

Програма Європейської системи реле даних ESA (EDRS) розмістила супутники в ГЕО, де вони передають інформацію до та із супутників, які не є ГЕО, та інших станцій, які в іншому випадку не можуть постійно передавати або приймати дані. Це означає, що Європа завжди може бути на зв'язку та в Інтернеті.

Низька орбіта Землі (НОЗ) - це, як випливає з назви, - орбіта, яка є відносно близькою до поверхні Землі. Зазвичай він знаходиться на висоті менше 1000 км, але може бути на відстані 160 км над Землею, що є низьким порівняно з іншими орбітами, але все ще дуже далеко над земною поверхнею.

Для порівняння, більшість комерційних літаків не літають на висотах, значно більших приблизно від 14 км, тому навіть найнижчий НОЗ більш ніж у десять разів перевищує це.

На відміну від супутників в ГЕО, які завжди повинні обертатися навколо екватора Землі, супутники НОЗ не завжди повинні слідувати певним шляхом навколо Землі - їх площину можна нахилити. Це означає, що в НОЗ є більше доступних маршрутів для супутників, що є однією з причин, чому НОЗ є дуже часто використовуваною орбітою.

Близька близькість НОЗ до Землі робить її корисною з кількох причин. Це орбіта, яка найчастіше використовується для супутникових знімків, через те, що знаходження біля поверхні дозволяє робити знімки з більшою роздільною здатністю. Це також орбіта, яка використовується для Міжнародної космічної станції (МКС), через те, що космонавтам простіше їхати до неї та з неї на меншу відстань. Супутники на цій орбіті рухаються зі швидкістю близько 7,8 км в секунду; із такою швидкістю супутникові потрібно приблизно 90 хвилин, щоб обвести Землю, тобто МКС подорожує навколо Землі приблизно 16 разів на день.

Однак окремі супутники НОЗ менш корисні для таких завдань, як телекомунікації, через те, що вони так швидко рухаються по небу і тому потребують великих зусиль для відстеження від наземних станцій.

Натомість, супутники зв'язку в НОЗ часто працюють як частина великої комбінації або сузір'я з декількох супутників, щоб забезпечити постійне охоплення. Для збільшення покриття іноді подібні сузір'я, що складаються з декількох однакових або подібних супутників, запускаються разом, щоб створити "мережу" навколо Землі. Це дозволяє їм охоплювати великі ділянки Землі одночасно, працюючи разом.

Агіане-5 перевезла свій найважчий 20-тонний корисний вантаж, Автоматизований транспортний засіб на Міжнародну космічну станцію, розташовану на низькій орбіті Землі.

Середня земна орбіта (СЗО). Середня земна орбіта містить широкий діапазон орбіт в будь-якому місці між НОЗ та ГЕО. Він схожий на НОЗ тим, що йому також не потрібно проходити конкретні шляхи навколо Землі, і його використовують різноманітні супутники з безліччю різних застосувань.

Він дуже часто використовується навігаційними супутниками, як європейська система Galileo. Galileo забезпечує навігаційну комунікацію по всій Європі і використовується для багатьох типів навігації, від відстеження великих джембо-джетів до отримання вказівок до вашого смартфона. Galileo використовує сузір'я з декількох супутників, щоб забезпечити охоплення великих частин світу відразу. Переносні орбіти та геостаціонарна орбіта передачі (ГТО)

Полярна орбіта і Сонцесинхронна орбіта (ССО)

Супутники на полярних орбітах зазвичай проходять повз Землю з півночі на південь, а не із заходу на схід, проходячи приблизно над полюсами Землі.

Супутники на полярній орбіті не повинні точно проходити Північний та Південний полюси; навіть відхилення в межах 20 - 30 градусів все ще класифікується як полярна орбіта. Полярні орбіти - це тип низької орбіти Землі, через те, що вони знаходяться на малій висоті від 200 до 1000 км.

Сонцесинхронна орбіта (СОО) - особливий вид полярної орбіти. Супутники в ССО, подорожуючи над полярними регіонами, є синхронними із Сонцем. Це означає, що вони синхронізовані, щоб завжди знаходитися в тому самому «фіксованому» положенні відносно Сонця. Це означає, що супутник завжди відвідує одне і те ж місце в той самий місцевий час - наприклад, щодня об'їжджаючи місто Париж щодня опівдні.

Це означає, що супутник завжди буде спостерігати точку на Землі так, ніби постійно в один і той же час дня, що обслуговує ряд додатків; наприклад, це означає, що вчені та ті, хто використовує супутникові знімки, можуть порівняти, як десь змінюється з часом.

Це тому, що, якщо ви хочете контролювати місцевість, роблячи серію знімків певного місця протягом багатьох днів, тижнів, місяців чи навіть років,

то було б не дуже корисно порівняти десь опівночі, а потім опівдні - потрібно зробити кожне зображення так само, як і попереднє зображення. Тому вчені використовують подібні серії зображень, щоб дослідити, як виникають погоди, щоб передбачити погоду чи шторми; під час моніторингу надзвичайних ситуацій, таких як лісові пожежі чи повені; або для накопичення даних про довгострокові проблеми, такі як вирубка лісів або підвищення рівня моря.

Часто супутники в ССО синхронізуються так, що вони перебувають у постійній світланку чи сутінках - це тому, що, постійно їдучи до заходу сонця чи сходу сонця, вони ніколи не матимуть Сонця під кутом, де Земля їх затінює. Супутник на сонячній синхронній орбіті зазвичай знаходився на висоті від 600 до 800 км. На 800 км він рухатиметься зі швидкістю приблизно 7,5 км в секунду.

Трансферні орбіти та геостаціонарна орбіта передачі.

Трансферні орбіти – це особливий вид орбіти, який використовується для переходу з однієї орбіти на іншу. Коли супутники запускаються із Землі та переносяться у космос із ракетними апаратами, такими як Ariane 5, супутники не завжди розміщуються безпосередньо на їх кінцевій орбіті. Часто супутники замість цього розміщуються на передавальній орбіті: орбіта, де, використовуючи порівняно мало енергії від вбудованих двигунів, супутник або космічний апарат може переходити з однієї орбіти на іншу.

Це дозволяє супутнику досягти, наприклад, висотної орбіти на зразок ГЕО, фактично не потрібно ракетному апарату пройти весь шлях до цієї висоти, що вимагало б більше зусиль - це як зробити ярлик. Досягнення ГЕО таким чином є прикладом однієї з найпоширеніших орбіт перенесення, званої орбітою геостаціонарної передачі.

Орбіти мають різні ексцентриситети - міра того, наскільки кругла або еліптична орбіта. На ідеально круглій орбіті супутник завжди знаходиться на однаковій відстані від поверхні Землі, але на сильно ексцентричній орбіті шлях виглядає як еліпс.

На такій ексцентричній орбіті супутник може швидко переходити від дуже далеко до майже земної поверхні залежно від місця супутника на орбіті. На орбітах передачі корисне навантаження використовує двигуни для переходу з орбіти одного ексцентриситету на інший, що виводить його на трасування на більш високі або нижчі орбіти.

Після виходу з літака ракетноносець пробирається в космос, слідуючи на зображеній жовтою лінією стежці. У цільовому пункті призначення ракета випускає корисний вантаж, який відправляє його на еліптичну орбіту, слідуючи синій лінії, яка відправляє корисне навантаження далі від Землі. Точка, що знаходиться найдалі від Землі на синій еліптичній орбіті, називається апогей, а найближча точка називається перигеєм.

Коли корисна навантаження досягає апогея на висоті ГЕО 35 786 км, вона спрацьовує своїми двигунами таким чином, що вона потрапляє на кругову орбіту ГЕО і залишається там, показаною червоною лінією на діаграмі. Отже, конкретно, орбіта геостаціонарної передачі - це синій шлях від жовтої орбіти до червоної орбіти.

1.3 Орбіти поховання штучних супутників землі

Орбіта поховання ШСЗ – орбіта, на яку переміщують космічні апарати після закінчення їх експлуатації для зменшення ймовірності зіткнень і очищення місця на орбіті. Для геостаціонарних супутників орбітою поховання є орбіта, перигей якої як мінімум на 200 кілометрів перевищує висоту геостаціонарної орбіти.



Рис.1.8. Схема переведення ГСС на орбіту поховання.

Потрібну зміну перигею (ΔH) для кожного апарату розраховують окремо, за формулою:

Де C_R – тиск сонячного випромінювання, коефіцієнт якого – зазвичай між 1,2 і 1,5; A/m – відношення площі [м^2] до маси [кг] об'єкта.

Ця формула включає в себе близько 200 км для геостационарної орбіти, у ці 200 кілометрів також закладено висоту для маневрів на орбіті. Ще 35 кілометрів запасу зроблено для забезпечення безпеки у зв'язку з впливом гравітаційних збурень (у першу чергу – сонячних і місячних) на супутники.

Для того, щоб отримати ліцензію на надання послуг зв'язку в Сполучених Штатах, Федеральна комісія зі зв'язку США (FCC) вимагає від усіх операторів геостационарних супутників, запущених після 18 березня 2002 року, взяти на себе зобов'язання перевести супутники на орбіту поховання в кінці їхнього терміну служби. Державний регулятор США вимагає підвищити, ΔH , ~ 300 км.

1.4 Класифікації типів штучних супутників землі

Розрізняють такі типи супутників:

- 1) Астрономічні супутники – це супутники, призначені для дослідження планет, галактик і інших космічних об'єктів. Наприклад: «Космос-215», «ВАТ-2», «Хаббл».
- 2) Біосупутники – це супутники, які призначені для розробки наукових експериментів над живими організмами в умовах космосу. Наприклад: «АІСТ», «BeeSat-2», «DOVE-2», «G.O.D. Sat».
- 3) Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) – це спостереження над поверхнею за допомогою Землі авіаційних і космічних засобів, які оснащені різними типами знімальної апаратури. Наприклад: «Космос-1076», «БІЛКА», «QuickBird», «IKONOS».
- 4) Космічні кораблі – пілотовані космічні апарати, призначені для виконання польотів людей в космічному просторі, зокрема, доставки людей в космос безпечного їх повернення на Землю (або іншу планету/місяць/космічну станцію). Наприклад: «Схід», «Схід», «Джеміні», «Меркурій», «Шугуан».
- 5) Космічні станції – космічні кораблі, призначені для довготривалого перебування людей на околопланетній або, рідше, навколо зіркової орбіти з метою розробки наукових досліджень в умовах космічного простору, розвідки, спостережень за поверхнею і атмосферою планети, астрономічних спостережень тощо Наприклад: «Мир», «Тяньгун», «SkyLab», «Салют».
- 6) Метеорологічні супутники – це супутники, які використовуються для передачі даних в цілях передбачення погоди, а також для спостереження клімату Землі. Наприклад: «Фен'юнь», «Meteostat», «Тирос», «Німбус», «Метеор».
- 7) Малі супутники – це супутники з малою вагою (менше 1 або 0,5 тонн) та з розмірами, які застосовуються для дослідження систем радіозв'язку, калібрування РЛС та оптичних систем контролю

космічного простору (в тому числі пасивні КА), Дистанційного Зондування Землі (ДЗЗ), дослідження тросових систем і в освітніх цілях. Наприклад: «Space Technology».

- 8) Розвідувальні супутники – ШСЗ, призначений для спостереження Землі (телевізійна зйомка, фотозйомка) з метою забезпечення розвідувальної діяльності або супутник зв'язку, що застосовується для розвідки. Наприклад: «Зеніт».
- 9) Навігаційні супутники – комплексна електронно-технічна система, що формується із космплексів наземних та космічних пристроїв, які призначені для обчислення місця розташування (наприклад, географічних координат і висоти) та точного часу, а також параметрів руху (наприклад, швидкості і напрямку руху і т. д.) для наземних, водних і повітряних об'єктів. Наприклад: «СРНС ГЛОНАСС».
- 10) Супутники зв'язку – ШСЗ, який призначений для ретрансляції радіосигналу споміж точками на поверхні землі, які не мають прямої видимості. Наприклад: «Блискавка» (Росія), «Інтелсат» (США).
- 11) Експериментальні супутники – ШСЗ, запусканий з метою підготовки польоту людини в космічний простір, випробування і відпрацювання конструкції і систем космічного корабля.

Висновки до першого розділу

1. Супутниковий зв'язок широко використовується для різноманітних цілей та різними видами зв'язку;
2. Потреба у супутниковому зв'язку виникла у покращенні ефективності передачі інформації через відсутності прямої видимості між лініями радіозв'язку;
3. Широкий спектр використання штучних супутників вимагає деякої гнучкості від систем передачі та прийому телеметричної інформації;
4. Складність супутникових систем вимагають граничної точності.

РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕЛЕМЕТРИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТЕЛЕМЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СУПУТНИКІВ

2.1 Структурна схема телеметричної апаратури

Телеметрична система – це сукупність приладів, що забезпечують збір сигналів із засобів первинного перетворення, формування телеметричних сигналів, передачу їх по каналу зв'язку, реєстрацію і відображення телеметричних повідомлень на прийомній стороні.

Радіотелеметрична система (РТМС) – це телеметрична система, в якій використовується радіоканал зв'язку. Таким чином, до складу телеметричної системи входять наступні телеметричні засоби бортова інформаційно-телеметрична система (БІТС), телеметричний канал зв'язку і радіотелеметрична приймально реєструюча станція (ПРС).

Радіотелеметрична система разом з датчиками і комплексом підготовки даних та інформації (системою обробки) створює радіотелеметричний комплекс (РТМК).

Телеметричний канал зв'язку – це сукупність пристроїв і складових частин з одним входом і одним виходом, що виконує передачу групових телеметричних сигналів на відстань та їх прийом.

Таким чином до складу телеметричного каналу зв'язку входить радіопередавач, лінія зв'язку (радіолінія) і радіоприймач.

ПРС складається з двох елементів наземних телеметричних засобів: радіоприймача телеметричного каналу зв'язку і телеметричної станції (ТМС).

При штатній експлуатації космічного апарата частина телеметричних засобів розміщається на його борту, а частина – на землі; зв'язок між ними здійснюється за допомогою радіоканалу, тому інформаційно-телеметричні засоби називаються радіотелеметричними. Бортові телеметричні засоби містять у собі датчики; БІТС; що виконує роль засобу узгодження датчиків з радіопередавачем телеметричного каналу зв'язку і споживачами інформації, радіопередавач каналу зв'язку.

Наземні телеметричні засоби містять: ПРС для прийому, реєстрації і відображення інформації; систему обробки, головною задачею якої є узгодження радіотелеметричної приймально-реєструючої станції, із системою аналізу. Ці засоби відповідно до задач, що вони вирішують, доцільно об'єднати в системи та комплекс. Узагальнена структурна схема радіотелеметричного комплексу зображено на рис.2.1:

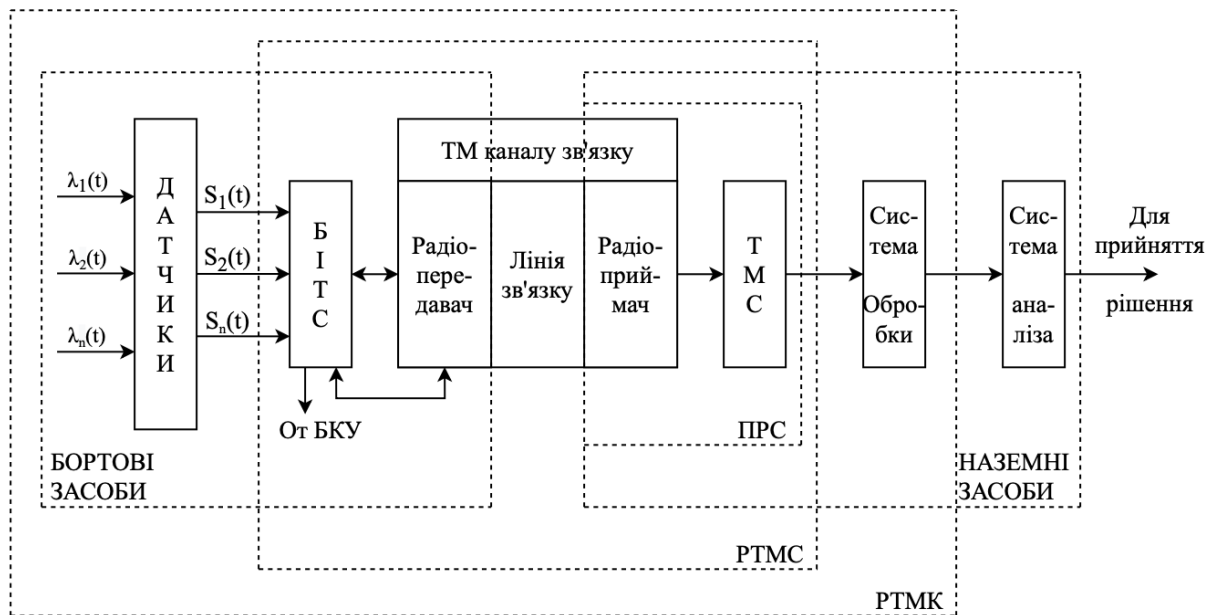


Рис.2.1. Типова структурна схема радіотелеметричного комплексу

Радіотелеметричний комплекс вимірює і контролює показники фізичного процесу, події чи явища, що вивчається, які називаються телеметричними параметрами. Телеметричні параметри мають надалі позначку $\lambda(t)$.

В результаті обробки телеметричних повідомлень формується оцінка телеметричного параметра $\lambda'(t)$, що зображає значення параметра або функціональну залежність його від часу чи іншого аргументу. Оцінка відрізняється від істинного значення наявністю внесених похибок.

На основі отриманих оцінок телеметричних параметрів здійснюється аналіз результатів вимірів, визначається стан системи КА та приведення результатів обробки до виду, зручного та подальшого використання для прийняття рішення по управлінню КА.

Управління об'єктом включає:

- 1) Управління рухом центра мас об'єкта в просторі і положенням об'єкта щодо центра мас;
- 2) Управління озброєнням і спеціальною апаратурою (реактивними установками, фотоапаратурою, спектрометрами й ін.);
- 3) Управління технічними засобами, що забезпечують функціонування об'єкта, його систем і екіпажу (системами енергопостачання, терморегулювання, системами життєзабезпечення екіпажа та ін.);
- 4) Оцінку точності процесу управління й ухвалення рішення по подальшому управлінню.

2.2 Характеристики телеметричної інформації

Число інформаційних каналів N_k . Для передачі k вимірів (параметрів) з об'єкта необхідно N_k інформаційних каналів. Під інформаційним розуміється канал, на вхід якого підключається сигнал з одного функціонального датчика, (тобто в цьому випадку $N_k = k$) чи з декількох сигнальних датчиків. У радіотелеметрії для одночасної подачі інформації з N_k каналів використовується, як правило, одна радіолінія (багатоканальна система передачі) [4].

Число телеметричних параметрів $N_{ТМП}$. Число телеметричних параметрів $N_{ТМП}$ відповідає числу датчиків на КА.

Частота опитування параметра F_{on} – це кількість опитувань параметра у секунду. F_{on} яка узгоджується зі швидкістю зміни параметра (максимальною частотою в його спектрі F_{max}). При цьому необхідне виконання умови $F_{on} > 2 F_{max}$ (теорема Котельникова).

Практично $F_{on} > 5 F_{max}$.

Частота опитування інформаційного каналу F_{on} – це кількість опитувань інформаційного каналу у секунду. F_{on} , яка відповідає швидкості переключення основного комутатора в РТМС з часовим розділенням каналів.

Похибки телеметрирування. Похибкою виміру називається відхилення результатів вимірів від істинного значення вимірюваної величини. Істинне

значення, у свою чергу, визначається як значення фізичної величини, що ідеальним чином повинне відтворюватися в якісному і кількісному відношенні відповідну властивість об'єктів.

Істотне значення залишається невідомим, тому за допомогою вимірів визначається так зване дійсне значення, яке настільки наближається до істинного, що для такої цілі може бути застосоване замість нього. Точність вимірів – це якість вимірів, що показує близькість їх результатів до істинного значення вимірювальної величини.

При всякому вимірі і передачі результатів вимірів на відстав, їх прийомі і обробці неминучі відхилення результатів виміру від дійсних значень, що обумовлені різноманітними причинами. Ці відхилення називають похибками телеметрування. Іншими словами, відхилення оцінки телеметричного параметра чи якої-небудь його характеристики від дійсного значення прелставляє собою похибку телеметрування.

Джерелами похибок є: похибки апаратури (датчиків, елементів схеми й ін.); спотворення в радіолінії, що викликані впливом сусідніх каналів (перехідні і перехресні завади); вплив зовнішніх шумів на радіолінію й інше.

РТМК на кожний вирінюваний параметр має основну і додаткову похибку, що мають місце при нормальних умовах застосування і при відхиленні умов експлуатації від нормальних.

Узагальненою характеристикою РТМС є точність системи, обумовлена межами припустимих основних і додаткових похибок.

По точності РТМС поділяються на три групи:

- РТМС середньої точності (точність 5-7%);
- РТМС високої точності (1-2%);
- Прецизійні РТМС (0,1-0,2%).

Важливою характеристикою каналу зв'язку РТМС є пропускна здатність РТМС (швидкість передачі телеметричної інформації), що представляє максимальний можливий обсяг повідомлень, які РТМС здатна передавати, приймати і раєструвати в одиницю часу (максимальна швидкість передачі

ТМІ) при необхідній точності передачі. З теорії інформації відомо, що швидкість передачі інформації по каналу зв'язку:

$$(2.1)$$

де ΔF – смуга частот, що займає канал зв'язку;

P_c / P_u – відношення потужності сигналу до потужності шуму в смузі каналу зв'язку.

Зі співвідношення (2.1) видно, що необхідну швидкість передачі інформації можна одержати за рахунок використання різних комбінацій показників ΔF і P_c , тобто один показник можна обміняти на інший. Однак розширення смуги частот каналу зв'язку не завжди є визначальним чинником для одержання виграшу по необхідній потужності сигналу.

Другою характеристикою систем передачі інформації ТМІ є її завадостійкість, що характеризує здатність приймального пристрою телеметричної системи зберігати працездатність при наявності перешкод.

Основними показниками завадостійкості цифрових систем передачі інформації є:

$$\text{відношення: } h_o^2 = E_o / N_o,$$

де E_o – енергія сигналу; N_o – спектральна щільність шуму;

$$\text{база сигналу: } B = \Delta F \tau_o$$

де τ_o – тривалість символу коду.

У цифрових системах швидкість передачі інформації:

$$, \quad (2.2)$$

Передача телеметричної інформації в основному здійснюється цифровими методами. При цьому можуть використовуватися коди з основою $m=2$ (бінарні коди) і коди з основою $m>2$ (багатоосновні коди). У найбільш розповсюджених випадках застосування рівномірних кодів, у яких число розрядів n (значність коду) величина постійна, максимально можливе число кодових повідомлень $N=m^n$.

Поряд с показником РТМС пропускною здатністю в РТМС із часовим розділенням каналів використовується ще показник інформативності

телеметричної системи, що представляє обсяг повідомлень який передається, приймається і реєструється в одиницю часу. Показник інформативності I_{inf} враховує число інформаційних каналів N_k , точність виміру $\gamma(\sigma)$, частоту опитування F_{on} .

Інформативність може вимірятися або кількістю вимірів в секунду, тобто

$$I_{inf1} = N_k F_{on}$$

або кількістю бінарних одиниць у секунду, тобто

$$I_{inf2} = N_k F_{on} n,$$

де n – число бінарних розрядів на один вимір (значність коду).

Третьою важливою характеристикою будь-якої радіолінії, у тому числі і радіолінії РТМС, є дальність зв'язку телеметричної системи, яка залежить від енергетичного потенціалу радіолінії. Максимальна відстань, при якому забезпечується необхідна ймовірність зв'язку, визначається формулою

$$D_{max} = \frac{1}{\lambda_{xв}} \sqrt{\frac{P_{пер} G_{пер} G_{пр} \eta_{пр} \eta_{пер} L_o \kappa_3}{(P_c/P_{ш})_{min} P_{ш} \Pi_{ef}}}, \quad (2.3)$$

Де: D_{max} – максимальна дальність дії радіотелеметричного каналу зв'язку;

$\lambda_{xв}$ – довжина хвилі;

$P_{пер}$ – потужність передавача, Вт;

$G_{пер}$ – коефіцієнт підсилення передавальної антени;

$G_{пр}$ – коефіцієнт підсилення приймальної антени;

$\eta_{пр} \eta_{пер}$ – коефіцієнти передачі приймального і передавального антенно-фідерного трактів;

L_o – коефіцієнт запасу, що враховує втрати енергії електромагнітних коливань при поширенні крізь атмосферу і міжпланетний простір;

κ_3 – коефіцієнт запасу, що враховує втрати, які обумовлені нерівномірністю діаграм спрямованості антен, а також поляризаційні втрати;

$(P_c/P_{ш})_{min}$ – відношення сигнал/шум на вході приймача, Вт;

$P_{ш} = kT\Pi_{ef}$ – потужність шумів на вході приймача, Вт;

Π_{ef} – ефективна (шумова) смуга пропускання наземного приймача на високій частоті (до детектора), Гц;

$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ – стала Больцмана;

T – шумова температура приймальної системи.

2.2 Структура командного центру зв'язку із супутником

Автоматизована система управління (АСУ) КА призначена для забезпечення функціонування КА за прямим призначенням з урахуванням програми польоту КА і стану його бортових систем. АСУ космічного корабля включає наземний комплекс управління (НКУ) і бортовий комплекс управління (БКУ) КА, які взаємодіють один з одним [10].

На Рис.2.2. представлена типова схема взаємодії основних засобів АСУ космічного апарату.

Згідно з Рис.2.2. АСУ КА визначається як «поєднання наземних і бортових засобів з необхідною інформаційною та математичною підтримкою», призначених для управління КА. НКУ включає в себе інформаційно-вимірювальні системи і засоби зв'язку, виділені з НАКУ для виконання операцій управління системою КА.

НАКУ КА – це комбінація контрольно-вимірювальних приладів, центрів та інших об'єктів, включаючи різні наземні засоби управління для всієї ОГ КА (НС, КВС прийомні та реєструючі телеметричні станції, обчислювальні засоби центрів управління КА, засоби зв'язку і передачі даних, засоби автоматизації, засоби системи єдиного часу і т.д.). НАКУ забезпечує планування і координацію роботи об'єкта з різних АСУ космічного корабля.

У КВП – це визначення відноситься до локальної угруповання засобів НАКУ, зосереджена в певній сфері (пункті) і включає, поряд з іншими засобами НС КВС, які обмінюються інформацією з КА і з центрами управління (ЦУ) КА.

Командно-вимірювальні прилади в своєму розвитку називалися по-різному, останнім часом вони отримали назву окремих командно-вимірювальних комплексів (ОКВК). Система команд і вимірювань відповідно до ГОСТ 23225-78 визначається як «набір засобів АСУ КА, які обмінюються

інформацією між контрольно-вимірювальними приладами і КА і ВПНП КА для забезпечення контролю над цим пристроєм».

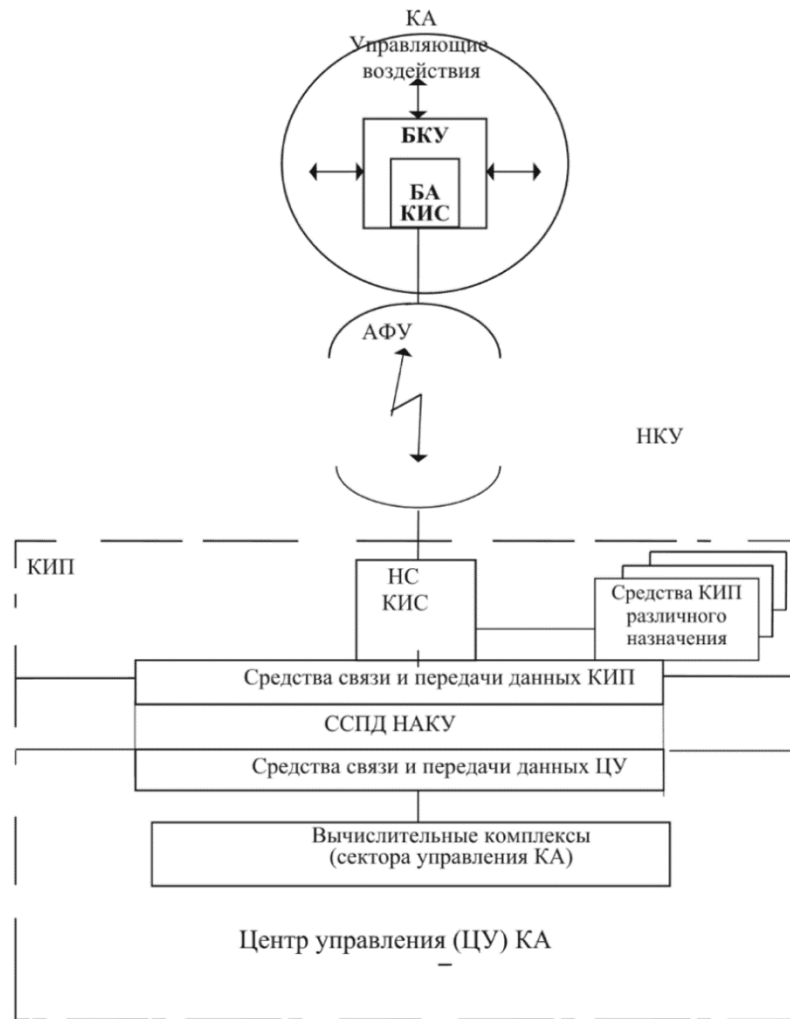


Рис.2.2. Типова структура взаємодії основних елементів АСУ КА

На Рис.2.2. наведені визначення КВС, деталізують визначення ГОСТ 23225-78 «Командно-вимірювальна система – радіотехнічний засіб НАКУ в сукупності з бортовою апаратурою КА, призначене для вимірювання параметрів руху КА, прийому і передачі різних видів інформації, формування і передачі на КА команд і програм управління, стандартних частот і сигналів часу для синхронізації роботи БКУ ».

КВС є основними радіотехнічними засобами управління КА. До складу КВС входить НС і БА. НС КВС включається до складу ПКУ КА, БА КВС - до складу БКУ КА. Антенно-фідерні пристрої (АФП), що функціонують на БА КВС, включаються до складу КА. Наземне АФП входить до складу НС КВС.

Такий поділ апаратурних комплексів умовно, але зберігається протягом багатьох років.

НС КВС взаємодіє з ЦУ КА через систему зв'язку і передачі даних (СЗПД) НАКУ КА, за винятком однопунктної побудови НКУ.

Наведені визначення КВС (як і будь-які інші) не є досконалими. Більш того, вони частково суперечливі (в першому випадку - КВС сукупність засобів АСУ КА, у другому - радіотехнічний засіб НАКУ в сукупності з бортовою апаратурою КА).

Згідно з сучасними поглядами КВС можуть входити в різні технічні формування, як обумовлені в наведених визначеннях, так і в інші автоматизовані системи спеціального зв'язку та управління; системи радіоспостереження за різними космічними об'єктами; системи передачі спеціальної інформації; системи передачі телевимірювань з КА, ракет, розгінних блоків (РБ). Згідно НС КВС можуть розміщуватися не тільки на КВП НАКУ. Крім того, апаратурні комплекси КВС і КВП можуть бути як наземними, так і морськими, повітряними. Можна очікувати створення і космічних КВП.

Висновки до другого розділу

1. Радіотелеметричні системи мають велику кількість датчиків, котрі вимірюють, аналізують, формують телеметричні сигнали та передають усю необхідну інформацію до земної станції.

2. Автоматизована система управління забезпечує безперебойне функціонування космічного апарату з урахуванням стану наземних та бортових систем.

РОЗДІЛ 3. АЛГОРИТМ ОБРОБКИ ТЕЛЕМЕТРИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТКС

3.1 Аналіз сучасних телеметричних систем.

Основне призначення науково-дослідних космічних апаратів проектів - прийом, первинна обробка та реєстрація телеметричної інформації з борту космічного апарату, що знаходиться на орбіті Землі.

В цьому розділі надана інформація для ознайомлення з основними принципами роботи та технічними даними телеметричних систем, що використовувалися в космічній техніці.

Приймально-реєструюча станція МК-9МКТМ-4.

У ході польоту космічного апарату «Січ-1» та «Січ-1М», телеметрична інформація в повному масштабі надходить по радіоканалу на наземні приймально-реєструючі станції МА-9МКТМ-4, зафіксується на її пристрої магнітної реєстрації на магнітні стрічки і далі, по каналах зв'язку надходить на комплекс автоматичної обробки ТМІ в Центр керування польотами (ЦКП).

Радіотелеметрична приймально-реєструюча станція включається в склад наземних засобів радіотелеметричної системи. У своєму складі вміщує радіоприймач телеметричного каналу зв'язку і телеметричну станцію.

Радіотелеметрична приймально-реєструюча станція МА-9МКТМ-4 «Ромашка» призначена для прийому та обробки в повному обсязі телеметричного радіосигналу, селекції та декодування групового сигналу; магнітної та графічної реєстрації ТМІ, відтворювати її на засобах відображення і видачі через канали зв'язку та передачі даних на систему обробки.

У процесі роботи ПРС МА-9МКТМ-4 вирішує наступні задачі:

1. Напрявлення антени по куту місця та азимуту на напрямок, що забезпечує максимальний прийом ТМР і надалі спостереження за даним напрямком у режимі автоматичного спостереження.
2. Прийом, виділення, підсилення радіосигналів телеметричної інформації з модуляцією ЧІМ-АМ і КІМ-ЧМ у визначеній смузі

частот та перетворення його (зменшення) частоти сигналу до необхідною

3. Перетворення радіосигналів ТМІ у відеосигнал.
4. Селекція і декодування групового сигналу.
5. Реєстрація всього обсягу телеметричної інформації, що надходить з КА.
6. Відкрита реєстрація частини прийнятої інформації.
7. Відображення ТМІ.
8. Видача телеметричної інформації на систему обробки.

До складу апаратури наземної радіотелеметричної приймально-реєструючої станції МА-9МКТМ-4 входять наступні елементи:

1. Антенно-приймальний комплекс Б-529М – 1 комплект.
2. Універсальна телеметрична станція УРТС-2М – 2 комплекти.

Телеметрична приймально-реєструюча станція МА-9МКТМ-4 виконує:

1. Одночасний прийом і виділення радіосигналів ТМІ з модуляцією ЧІМ-АМ і КІМ-ЧМ двох будь-яких робочих частот у метровому та дециметровому діапазонах хвиль з автоматичним супроводом КА по одному з прийнятих сигналів.
2. Прийом та виділення сигналів ТМІ з модуляцією КІМ-ЧМ при наступних швидкостях передачі інформації 1000...512000 бан.од/с.
3. Прийом та виділення сигналів ТМІ з модуляцією ЧІМ-АМ при наступних швидкостях прямування опорних імпульсів 3,2 кГц, 6,4 кГц, 12,8 кГц, 25,6 кГц та при їх нестабільності не менше 10^{-4} (Вимірювальний імпульс лежить в межах від 0,25% до 0,75% від ширини каналного інтервалу).

Коефіцієнт шуму приймальних підсилювальних каналів на робочих частотах:

- у метровому діапазоні хвиль $\text{Ш}_{\text{прч "M"}} \leq 4,7$;
- у дециметрових діапазонах хвиль $\text{Ш}_{\text{прч "D"}} \leq 3,5$.

Чутливість прийомних пристроїв:

- у метровому діапазоні хвиль при прийомі однієї частоти (залежно від виду модуляції і швидкості передачі ТМІ) – мінус 116...145 дБ/Вт;
- у метровому діапазоні хвиль при прийомі одночасно двох частот – мінус 114-143 дБ/Вт;
- у дециметровому діапазоні хвиль – мінус 127...149 дБ/Вт;
- у дециметровому діапазоні хвиль при прийомі одночасно двох частот – мінус 125...147 дБ/Вт.

Максимальний час переходу з однієї робочої частоти на іншу і з однієї зони на іншу в межах діапазону $t_{пер1}$ не більше 30 с, а час переходу з одного діапазону на інший і з основного комплекту на резервний $t_{пер2}$ не більше 30 хв.

Час переходу з режиму роботи ЧІМ-АМ у режим КІМ-ЧМ $t_{пер3}$ не більше 30 с.

Реєстрацію всього обсягу прийнятої інформації на магнітну стрічку при швидкості руху стрічки 0,25 м/с...2 м/с (час безупинного запису інформації на одному запам'ятовуючому пристрої визначається довжиною магнітної стрічки, що знаходиться на бобіні – 1,5...2 км).

Відкриту графічну реєстрацію на електрохімічному папері в обсязі до 16 функціональних параметрів або до 32 сигнальних параметрів на одному графобудівнику з одночасним фарбуванням лінії реєстрації параметра.

Відображення до 16 параметрів інформації на екрані відео-контрольного пристрою в складі УРТС-2М в вигляді стовпчиків чи у цифровому вигляді. А для циклічних структур телеметричних сигналів відображення до 64 параметрів.

Видачу ТМІ в широкосмуговий канал зв'язку для передачі її в систему обробки, як у темпі прийому, так і в режимі відтворення інформації з магнітного запам'ятовуючого пристрою (МЗП) станції УРТС-2М.

Час підготовки апаратури до бойової роботи не більше 30 хв.

Час безупинної роботи станції «Ромашка» МА-9МКТМ-4 складає 16 годин з наступною 4-годинною перервою.

Гарантійний ресурс роботи ПРС МА-9МКТМ-4 10000 годин протягом 10 років.

Приймально-реєструюча станція ПРА-МК.

Апаратура ПРА-МК призначена для роботи в складі комплексу засобів «швидкої» телеметрії БРС-4МК (БРС-4, БРС-4М). Вона забезпечує прийому, перетворення, реєстрацію та видачу на обробку вимірювальної інформації від різноманітних модифікацій бортової телеметричної апаратури системи БРС-4М «Кварц», «Сиріус», «Скут».

Основні характеристики ПРС ПРА-МК:

1. Діапазон частот приймальних хвиль:
2. Метровий (три піддіапазанів М1-М3, фіксовані частоти настройки);
3. Дециметровий (два піддіапазона Д1, Д2, фіксовані частоти настройки, перенос частоти дециметрового діапазону в метровий виконується в антенному комплексі).

Максимальна інформативність при прийомі сигналу по радіоканалу або по відеоканалу (з використанням апаратури ретрансляції відеосигналів):

- від одного пристрою «Кварц» («Скут») – 1280 кБит/с (кодова структура кадру) та 1280 кВим/с (багатопозиційна структура кадру);
- від двох бортових пристроїв «Сиріус» - 2*640 кБит/с (кодова структура кадру) та 2*640 кВим/с (багатопозиційна структура кадру).

Апаратура ПРА-МК забезпечує:

1. видачу приймальної інформації в темпі прийому на апаратуру оперативного представлення інформації в аналоговому або цифровому видах в структурі умовного кадру;
2. видачу вимірювальної інформації в темпі прийому та при відтворенні в цифровому виді в апаратуру обробки та відображення Спектр-А2, Спектр-А0, Спектр-В, ВЛ-АОВИ-06 і апаратуру засобів обробки та передачі даних ВЛ-1033;

3. формування та реєстрацію додаткової легендної інформації (признак легендарного слова, рік, місяць, число, години та хвилини сеансу зв'язку, код апаратури, код території) та легендарної стартової інформації (признак «Старта», рік, місяць, число, час, хвилина, секунда, мілісекунда старту);
4. збір, формування та реєстрацію допоміжної інформації, яка характеризує якість приймальної інформації, кути повороту антени, номери несучих частот, режими роботи, якість функціонування окремих пристроїв.

Час входження в режим синхронізації і реєстрації інформації після появи сигналу, переключення на прийом сигналу другої частоти чи переключення потоків інформації не перевищує 0,35 с. Прискорене входження в синхронізм при відсутності завад в каналі зв'язку не перевищує тривалості одного циклу опитування локального цифрового комутатора.

Величина шумів і взаємних впливів між будь-якими каналами кадру основного комутатора бортового пристрою «Сиріус» в апаратурі ПРА-МК не більше ніж 5% від повної шкали.

Нелінійність амплітудної характеристики будь-якого вимірювального каналу апаратури не більше ніж 5%.

Максимальний час реєстрації потоку інформації бортового пристрою «Кварц» на єдиний магнітний носій – 1400с.

Реєстрація інформації при швидкості запису:

- 3048 мм/с для реєстрації в структурі С4 інформації бортового пристрою «Сиріус» з багатопозиційною і комбінованою структурою кадру;
- 1524 мм/с для реєстрації в структурі С₁ інформації бортового пристрою «Кварц»;
- 1524 мм/с для реєстрації в структурі С₂ інформації двох бортових пристроїв «Сиріус» з кодовою комбінацією;

- 762 мм/с для реєстрації в структурі C_3 інформації бортового пристрою «Сиріус» з кодовою інформацією.

Максимальна сумарна корисна інформативність реєструючих потоків 3200000 бит/с при швидкості руху стрічки 3048 мм/с і, відповідно, в 2ⁿ раз нижча при інших швидкостях.

Приймально-реєструюча станція МА-9МКТМ-1-03.

У процесі польоту «Січ-1» («Січ-1М») телеметрична інформація в повному обсязі надходить по радіоканалу не тільки на приймально-реєструючі станції МА-9МКТМ-4 частин Національного центру управління та випробування космічних засобів, які здійснюються в процесі управління КА, але і на приймально-реєструючу станцію МА-9МКТМ-1-03, що частково розгорнута в навчальному Центрі управління польотами (ЦУП-Ж) Житомирського військового орденов Жовтневої Революції і Червоного Прапора інституті радіоелектроніки імені С.П. Корольова, записується на її пристрої магнітної реєстрації на магнітні стрічки і далі надходить на навчальний комплекс автоматизованої обробки ТМІ в ЦУП-Ж.

У процесі функціонування ПРС МА-9МКТМ-1-03 вирішує наступні задачі:

1. Направлення антени по куту місця та азимуту на напрямок, що забезпечує максимальний прийом ПТМР і надалі супроводження за даним напрямком у режимах зовнішнього (програмного або синхронного) та ручного направлення.
2. Прийом, виділення, підсилення радіосигналів телеметричної інформації з модуляцією ЧІМ-АМ та КІМ-ЧМ у визначеній смузі частот та перетворення його (зменшення) частоти сигналу до необхідної.
3. Перетворення радіосигналів ТМІ у відеосигнал.
4. Селекція і декодування групового сигналу.
5. Реєстрація всього обсягу телеметричної інформації, що надходить з КА.

6. Відкрита реєстрація частини прийнятої інформації.
7. Відображення ТМІ.
8. Видача телеметричної інформації на систему обробки.

До складу апаратури радіотелеметричної приймально-реєструючої станції МА-9МКТМ-1-03 входять по одному комплекту наступні елементи:

1. Антенно-приймальний комплекс АПМД-1;
2. Універсальна телеметрична станція УРТС-2М;
3. Імітатор ИМД-2;
4. Апаратура АФП-ИМД.

Радіотелеметрична приймально-реєструюча станція МА-9МКТМ-1-03 забезпечує:

1. Прийом і виділення радіосигналів ТМІ з модуляцією ЧІМ-АМ та КІМ-ЧМ однієї з будь-яких робочих частот у метровому чи дециметровому діапазонах хвиль.
2. Прийом та виділення сигналів ТМІ з модуляцією КІМ-ЧМ при наступних швидкостях передачі інформації 1000...512000 бін.од/с.
3. Прийом та виділення сигналів ТМІ з модуляцією ЧІМ-АМ при наступних швидкостях проходження опорних імпульсів 3,2 кГц, 6,4 кГц, 12,8 кГц, 25,6 кГц та рпи нестабільності не менше 10^{-4} (Вимірювальний імпульс лежить в межі від 0,25% до 0,75% від ширини каналного інтервалу).

Чутливість прийомних пристроїв та кожному каналу:

- у метровому діапазоні хвиль на всіх робочих частотах в режимі «ЧІМ» (залежно від швидкості передачі ТМІ) не гірше – мінус 112...117 дБ/Вт ($6,3 \cdot 10^{-12} \dots 2 \cdot 10^{-12}$ Вт);
- у дециметровому діапазоні хвиль на всіх робочих частотах в режимі «КІМ» (залежно від швидкості передачі ТМІ) не гірше – мінус 126...131 дБ/Вт ($2,5 \cdot 10^{-13} \dots 8 \cdot 10^{-14}$ Вт); Вт при відношенні $P_c/P_{ш}=10$).

Максимальний час переходу з однієї робочої частоти на іншу і з однієї зони на іншу в межах діапазону $t_{\text{пер}1}$ не більше 30 с, а час переходу з одного діапазону на інший $t_{\text{пер}2}$ не більше 30 хв.

Час переходу з режиму роботи ЧІМ-АМ у режим КІМ-ЧМ $t_{\text{пер}3}$ не більше 30 с.

Реєстрація всього обсягу прийнятої інформації на магнітну стрічку при швидкості руху стрічки 0,25 м/с...2м/с (час безупинного запису інформації на одному запам'ятовуючому пристрої визначається довжиною магнітної стрічки, що знаходиться на бабіні – 1,5...2км).

Доступну графічну реєстрацію на електрохімічному папері в обсязі до 16 функціональних параметрів або до 32 сигнальних параметрів на одному графобудівнику з одночасним фарбуванням лінії реєстрації параметра.

Відображення до 16 параметрів інформації на екрані відеоконтрольного пристрою в складі УРТС-2М у виді стовпчиків чи у цифровому виді, а для циклічних структур телеметричних сигналів відображення 64 параметрів.

Видачу ТМІ в широкосмуговий канал зв'язку для передачі її в систему обробки як у темпі прийому, так і в режимі відтворення інформації з магнітного запам'ятовуючого пристрою (МЗП) станції УРТС-2М.

Час підготовки апаратури до бойової роботи не більше 30 хв.

Час безупинної роботи станції МА-9МКТМ-1-03 складає 16 годин з наступною 4-годинною перервою.

Бортова інформаційно-телеметрична система БР-92

Бортова інформаційно -телеметрична система (БІТС) БР-92 є аналоговою системою з тимчасовим поділом каналів, модуляцією ЧІМ-АМ і багатоступінчастої комутацією, яка забезпечує високу інформаційну гнучкість системи і скорочення протяжності кабельної мережі апаратури датчиків.

Системи БР-92 встановлювалися на самих різних промислових об'єктах з середини п'ятдесятих років і, використовуються до 90 років.

Прийом радіосигналу БІТС БР-92 виконує станцією МА-9МКТМ. Принцип передачі інформації в системі РТС-9 заснований на використанні часового розділення каналів і модуляції ЧІМ-АМ.

В системі РТС-9 використовується багатоступінчаста (розгалужена) комутація, яка передбачає установку так званих локальних (місцевих) комутаторів в місцях зосередження датчиків. Завдяки цьому представляється можливим істотно зменшити протяжність і вагу кабельної мережі.

Інформація з локальних комутаторів (ЛК), число яких в даній системі може досягати семи, надходить на основний комутатор (ОК). Його вихідний сигнал, який представляє собою послідовність імпульсів, модульованих по амплітуді (АІМ-сигнал), подається на перетворювач модуляції АІМ-ЧІМ. Тут АІМ-сигнал перетвориться в послідовність коротких імпульсів, модульованих за часовим положенням.

При подачі опорних та вимірювальних імпульсів на передавач останній випромінює короткі радіоімпульси, які відповідають його амплітудній модуляції (маніпуляції).

Бортора інформаційно-телеметрична система БР-93.

БІТС БР-93 використовується в телеметричному комплексі РТС-9 при цифровій передачі інформації.

Згідно з прийнятої класифікації відноситься до систем малої інформативності.

Бортова телеметрична система БР-93 призначена для цифрової передачі телеметричної інформації з об'єктів різного типу. Вона виконує безпосередню передачу даних телевимірювань, запам'ятовування інформації та її відтворення. За допомогою системи БР-93 можуть передаватись повільно-змінні функціональні та сигнальні параметри.

За принципом дії система БР-93 відноситься до телеметричних систем з часовим розділенням каналів і передачею інформації методом КІМ-ЧМ. Її особливістю є те, що вона виконує велику кількість команд, які забезпечують зміну складу працюючих пристроїв і режимі в їх роботи. Система БР-93 має

декілька модифікацій, які відрізняються складом та типом комплектуючих пристроїв (БР-93-1, БР-93-2 та інші).

Бортова інформаційно-радіотелеметрична система БР-91Ц

Багатоканальна бортова інформаційно-радіотелеметрична система БР-91Ц є однією із варіантів бортової апаратури радіотелеметричного комплексу РТС-9 та призначена для забезпечення радіотелеметричних вимірювань на штучних супутниках Землі з передачею інформації по радіолінії РТС-0 КІМ-Ц.

БІТС БР-91Ц призначена для забезпечення наступних режимів роботи:

1. Безпосередня передача (БП);
2. Запам'ятовування та зберігання інформації (ЗАПИС);
3. Безпосередня передача одночасно з запам'ятовуванням (БП+ЗАПИС);
4. Безпосередня передача одночасно з відтворенням інформації, що запам'яталась БП + ВІДТВ. 1,2,3);
5. Безпосередня передача на низькій частоті по високочастотному кабелю при проведенні іспитів об'єктів на заводі і технічній позиції (БП+НЧ).

БІТС забезпечує прив'язку інформації, що запам'яталась до теперішнього часу об'єкта та наземному часу:

1. Сумарна вихідна інформативність системи 25600 вимірів за секунду;
2. Інформативність радіолінії системи 256000 біт/с;
3. Дальність дії системи БР-91Ц до 2000 км в межах прямої видимості (при коефіцієнті посилення АФП в провалі 0,3). Мінімальний кут місця 5° .

Бортова інформаційно-радіотелеметрична система «Сиріус».

Бортова радіотелеметрична апаратура «Сиріус» телеметричної системи БРС-4М призначена для збору та передачі по радіолінії с об'єктів інформації про телеметричні параметри вібрації в широкому діапазоні частот,

високочастотні тиси, перехідні та ударні процеси, імпульси та цифрові сигнали.

Різноманітні поєднання основних та допоміжних блоків дозволяють отримати до 30-ти варіантів апаратури, які відрізняються інформативними можливостями та технічними характеристиками. Основними з цих характеристик є:

1. Максимальна загальна інформативність – 320 000 вимірів за секунду;
2. Спосіб передачі інформації – аналоговий та аналого-цифровий;
3. Режим інформаційного обслуговування – циклічний;
4. Частота опитування основного комутатора першої ступені – 8000, 16000, 32000 Гц, комутаторів другої ступені – 25, 50, 100 Гц (локальний кодовий комутатор) та 500, 1000, 2000 Гц (локальний аналоговий комутатор), комутаторів третьої ступені – 0,75; 1,5; 3,0 Гц (можливо підвищення частоти опитування в 2, 4, 8 разів);
5. Число каналів основного комутатора – 40, із яких 36 каналів інформаційні, чотири канали службові (39 та 40 використовуються для передачі маркера основного комутатора, 19 канал – для передачі маркера локальних комутаторів 12,5 Гц, 30 канал – для передачі сигналу калібрування 1000 Гц);
6. Число каналів локального кодового комутатора – 128, із яких 62 канали, що використовуються для передачі функціональних параметрів, 64 канали – призначені для передачі сигнальних параметрів, два канали – призначені для передачі сигналів калібрування 0% (61-й канал) і 100% (46-й канал);
7. Число каналів локального аналогового комутатора – 32, із яких 30 каналів інформаційні, два інших канали – для калібрування;
8. Число каналів локального комутатор 3-й ступені – 32;

9. Загальна кількість контрольованих з допомогою одного цифрового комутатора каналів – 3. Вид інформації по кожному каналу – 18-розрядний паралельний двійковий код;
10. Загальна кількість команд управління – 16;
11. Загальний ресурс апаратури не менше 2000 годин, нас безперервної роботи – 2 години з наступною перервою 1 годину.

Бортова апаратура дозволяє засекречувати цифрову інформацію за допомогою апаратури ЗАЗ типу «Муравей-А».

БІТС «Сиріус» реалізує принцип часового розділення каналів з циклічною дисципліною обслуговування джерел інформації.

На рис. 3.1. представлена структурна схема, яка пояснює можливі варіанти включення локальних комутаторів 2-й та 3-й ступенів комутації.

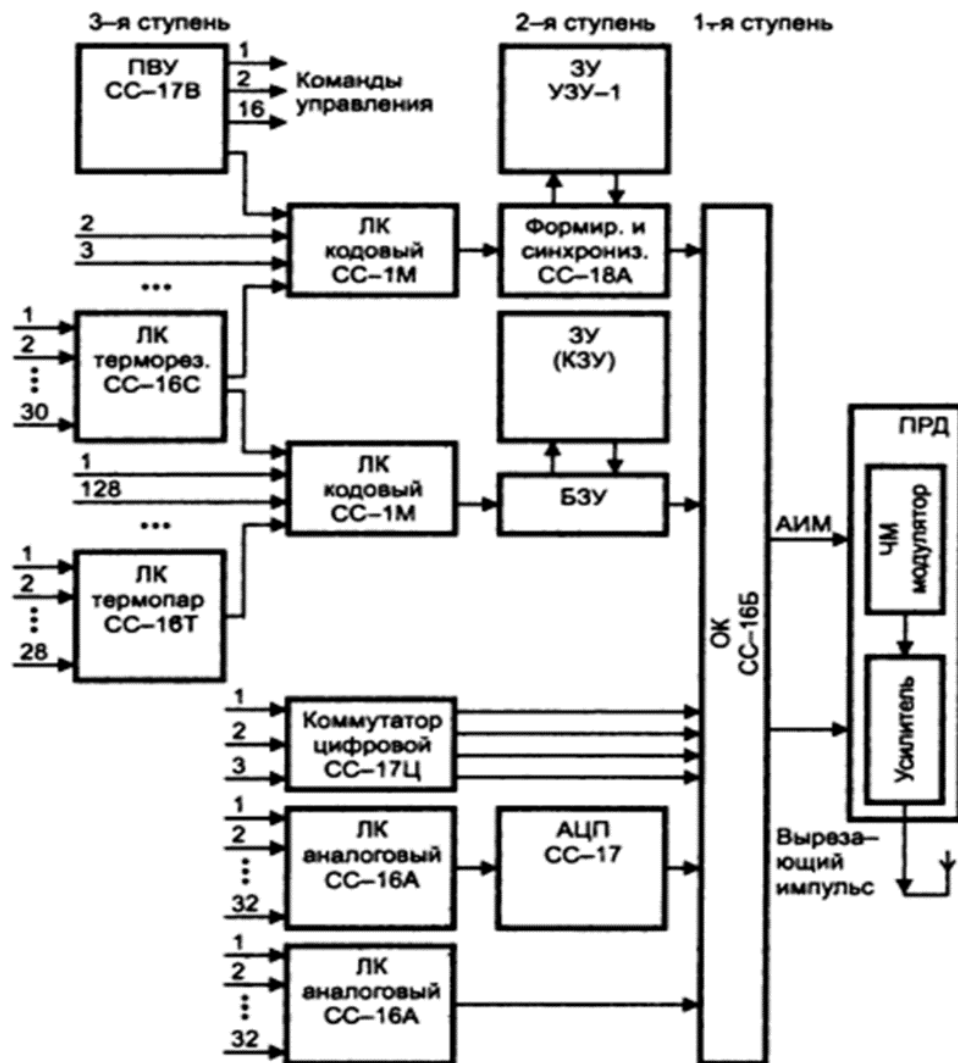


Рис.3.1. Система комутації БІТС «Сиріус»

Бортові інформаційно-радіотелеметричні системи «Кварц» та «Скут».

БІТС «Кварц» розроблена для збору та передачі радіотелеметричної інформації про становище бортових систем складних високодинамічних об'єктів, в першу чергу на етапі випробувань. По структурам сигналів та за складом основних і допоміжних блоків БІТС «Кварц» відповідає БІТС «Сириус» з деякою відмінністю в здійсненні процесів формування і передачі результуючого групового телеметричного сигналу. Це зумовлено високими потребами до інформативності БІТС та завадостійкості телеметричної лінії зв'язку для вказаних об'єктів контролю.

Структурна схема БІТС «Кварц» приведена на рис. 3.2:

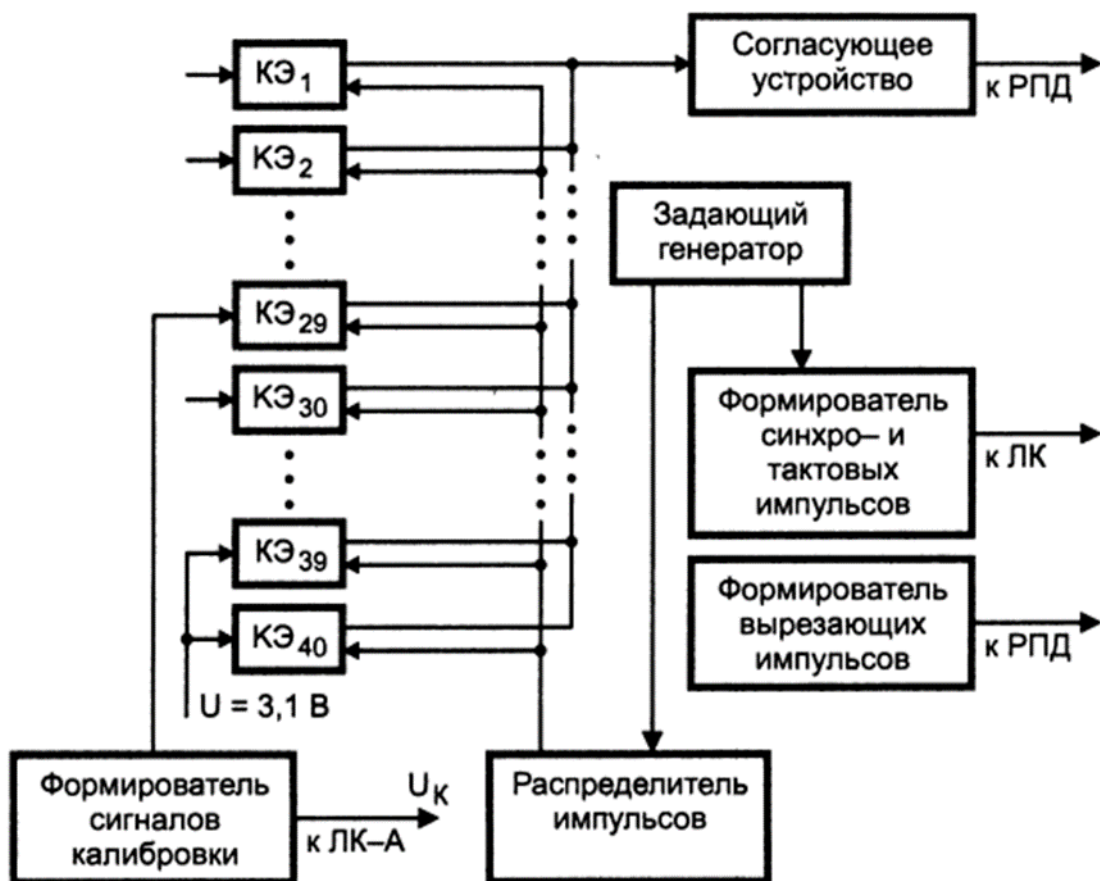


Рис.3.2. Система комутації БІТС «Кварц»

Сумарна інформативність БІТС «Кварц» - 1280 кБит/ч (кодова структура кадру) та 1280 кВим/с (багатопозиційна структура кадру).

БІТС «Скут» повністю аналогічна апаратурі «Кварц» і використовується при телеметрії (під час іспитів) окремих об'єктів ракетної техніки.

Бортова інформаційно-радіотелеметрична система «Скіф».

БІТС «Скіф» призначена для роботи з технікою з жорсткими обмеженнями. Структура та часові параметри групового телеметричного сигналу БІТС «Скіф» повністю ідентичні БІТС «Сиріус», але принципи побудови бортової апаратури суттєво відрізняються. Структурна схема БІТС «Скіф» представлена на рисунку 3.3.

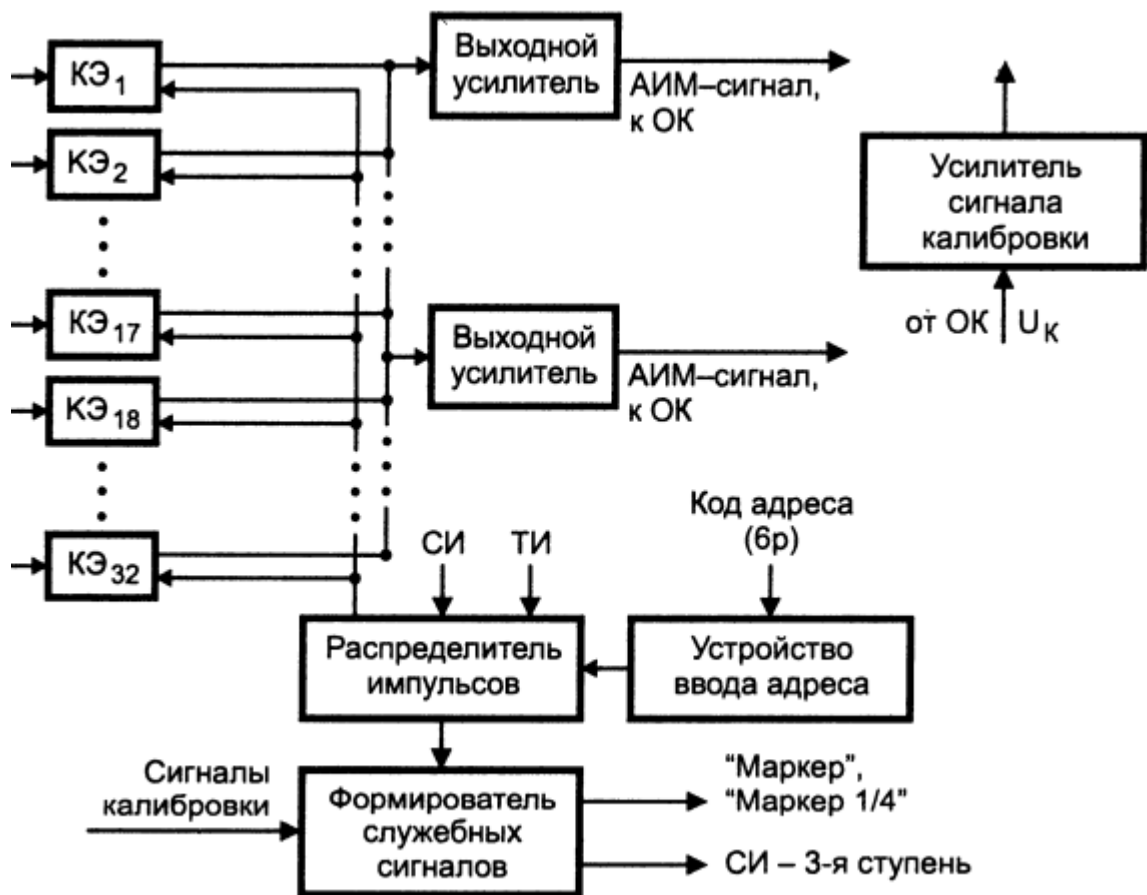


Рис.3.3. Структурна схема БІТС «Скіф»

Серед перспективних бортових інформаційно-телеметричних систем можна відмітити наступні:

1. Бортова інформаційно-радіотелеметрична система «Орбита-IV», яка призначена для вирішення інформаційно-вимірювальних задач як на ракетах носіях, розгінних блоках, головних блоках, ракетах авіаційного та морського базування, так і на космічних

апаратах, в тому числі й на КА з тривалістю до 10-15 років активного функціонування. БІТС представляє собою цифрову високоінформативну телеметричну систему, яка забезпечує збір інформації від різного типу датчиків: аналогових в шкалі (0-6,2) В, температурних (ТермоЕРС та термоопору, дискретних (типу «так-ні»), тензо- та вібродатчиків, від цифрових систем типу БЦОМ.

2. Система радіотелеметричних вимірювань «ПІРІТ», що призначена для використання в літальних пристроїв різних видів: літаки, гелікоптери, ракети, космічні апарати. Засоби «ПІРІТ» можуть також використовуватись для інформаційно-обчислювальних цілей, для організації передачі даних, в якості елементів систем керування в складі земних об'єктів, де від таких засобів необхідні малі об'ємні та масові характеристики, великий ресурс та невисокі затрати на обслуговування. Таким чином, технічні засоби «ПІРІТ» із запрограмованими функціями та характеристиками підтримують повний обсяг функціональних властивостей створеної системи, збільшення функціональних можливостей із доцільною дискретністю та при необхідності інтеграцію з обладнанням об'єктів, що підлягають телеметрії.
3. Телеметрична апаратура «Орбита-4МТ», яка функціонує в кадрі приймальної станції РТС Орбита- ТМ. БІТС «Орбита-4МТ» призначена для рішення задач телевимірювань при іспитах та штатної експлуатації об'єктів космічної, ракетної та авіаційної техніки всіх класів, а також штатної експлуатації об'єктів народного господарства.

Модифікації малогабаритної цифрової телеметричної системи ТА-932, яка призначена для збору, обробки, запам'ятовування та передачі телеметричної інформації аналогових температурних та контактних датчиків космічних апаратів.

Модифікації ТА-932 додатково виконує:

1. Параметричний контроль та видачу сигналу «уваги» при виході контрольованого параметру за норми допуску;
2. Зв'язок з БЦОК та передачу їх інформації через телеметричний канал.

Існують наступні модифікації даної БІТС: ТА932М1-2606, ТА932М3, ТА932MS (SESAT), ТСТК.

Радіотелеметрична система БР-9ЦК-1 – це телеметрична система наступного покоління на базі центрального блоку, яка цілеспрямована для реєстрації інформації аналогових, цифрових, температурних датчиків, які встановлені на апаратурі розгінного блоку «Фрегат» з наступною передачею даних через радіолінію. Система забезпечує передачу сигналу з інформативністю 51200 вимірів за секунду по автономній радіолінії в дециметровому діапазоні хвиль (Д1). Напруга живлення системи від 23В до 32В при пульсаціях, імпульсних завадах та просадках з амплітудою до 2В будь-якої тривалості та періодичності.

3.2 Відомості склад телеметричної інформації

Датчики

При експлуатації виробів ракетно-космічної техніки підлягають виміру різноманітні фізичні параметри, зокрема:

- температури газів, рідин і твердих тіл;
- тиск газів і рідин;
- лінійні і кутові положення, переміщення, швидкості, ускорення;
- перевантаження в різних напрямках;
- вібрації і механічні напруги елементів конструкції;
- ступінь іонізації;
- вологість;
- напруженість електричних і магнітних полів, і т.п.

Пристрій, що перетворює фізичний (телеметрируємий) параметр (ТМП) в первинний електричний сигнал (зазвичай напруга, струм або імпеданс), називається датчиком.

У вимірювальних системах ракетної техніки найбільш розпространені такі чутливі елементи (ЧЕ) датчиків: - мембранні системи, сильфони і манометричні трубки; - сейсмічні ЧЕ; - гіроскопічні ЧЕ; - поплавкові ЧЕ; - крильчатки; - обтічні ЧЕ; - звужують пристрої (нормальна і сегментна діафрагма, сопло, трубка Вентурі); - вимірювальні вали.

Статичні характеристики датчика: - тарировка; - чутливість (коефіцієнт перетворення) $k = \Delta s / \Delta \lambda$; - поріг чутливості (роздільна здатність) датчика. Динамічні властивості датчика характеризуються інерційністю. Інші характеристики: діапазон вимірювань, надійності, габарити, маса, споживана потужність і т.п.

Класифікація датчиків здійснюється:

- з фізичного параметру – тиску, деформації, температури;
- за формою сигналу – функціональних і сигнальних параметрів;
- за характером електричного сигналу – постійного і змінного струму;
- за величиною електричного сигналу – високого (0-6 В) і низького рівня (0-100 мВ);
- за формою подання сигналу – аналогові і цифрові;
- за методом перетворення – активні (генераторні) і пасивні (параметричні).

Фізичні ефекти, використовувані датчиками

Активні датчики

Вимірювана величина	Використовуваний ефект	Вихідна величина
Температура	Термоелектричний ефект	Напруга
Потік оптичного випромінювання	Піроелектричний ефект Зовнішній фотоефект	Заряд Струм Напруга

	Внутрішній фотоефект в напівпровідниках з р-п переходом Фотоелектромагнітний ефект	Напруга
Сила, тиск, прискорення	П'єзоелектричний ефект	Напруга
Швидкість	Електромагнітна індукція	Напруга
Переміщення	Ефект Холла	Напруга

Табл.3.1. Активні датчики

Пасивні датчики

У пасивних датчиках параметри вихідного імпедансу можуть змінюватися під дією вимірюваної величини (наприклад, температури). Вимірювання переміщення можливо з використанням потенціометричного, індуктивного, ємнісного перетворювача.

Фізичні принципи, використовувані пасивними датчиками

Табл.3.2. Пасивні датчики

Вимірювана величина	Змінювана електрична характеристика	Використовувані матеріали
Температура	Опір	Метали (платина, нікель, мідь), напівпровідники
Сверхнизькі температури	Діелектрична проникність	Скло, кераміка
Потік оптичного випромінювання	Опір Діелектрична проникність	Напівпровідники
Деформація	Опір	Сплави нікелю, легований кремній
Ємність	Магнітна проникність	Феромагнітні сплави
Переміщення	Опір	Магніторезистивні матеріали: вісмут, антимонід індію
Вологість	Опір Діелектрична проникність	Хлористий літій, окис алюмінію, полімери
Рівень	Діелектрична проникність	Рідкі ізоляційні матеріали

Комбіновані датчики здійснюють подвійне перетворення вихідної (первинної) вимірюваної величини в проміжну неелектричну, яку перетворюють потім у вихідну електричну. Наприклад: вимірюється тиск (газу або рідкого середовища) викликає вигин мембрани; цей вигин призводить до переміщення движка електричного потенціометра.

3.3 Оптимізації обробки телеметричної інформації

Бортова телеметрична система (БТМС) являє собою комплекс розподілених по системі датчиків, комутаторів, запам'ятовуючі пристрої формувачі та радіопередавачі сигналів.

В ході розвитку супутникових систем збільшується кількість переданої телеметричної інформації (від 3200 до 25600 вимірів у секунду). Це викликає потребу в збільшенні швидкості та ефективності передачі даних для уникнення збільшення кількості помилок та автоматизування аналізу даних, які надходять до наземної бортової системи.

В ході вивчення методів оптимізації передачі ТМІ, було розглянуті такі методи:

- Алгоритм розподілу асинхронної інформації навігаційної апаратури;
- Метод розподілу абонентів по потоку ТМІ з урахуванням обмежень;
- Алгоритм визначення адрес абонентів;
- Метод розподілу датчиків по пристроям БТМС з урахуванням конструктивних обмежень.

Найбільш простим та реалізуєним виявився метод розподілу датчиків по пристроям БТМС з урахуванням конструктивних обмежень.

Відповідно до програмних вимірів кожний датчик являє собою вектор $D(nm, td, fd, \dots)$, котрі залежать від визначених параметрів.

1. Угруповання датчиків по модулях системи в залежності від номера групи датчиків

$$MS_i = (i, td, fd, \dots), \quad i=1 \dots 4, \quad (5)$$

де i – місцезнаходження датчику (далі номер інтерфейсу).

2. Сортування отриманих груп за типами датчиків (7 типів)

$$T_k = D(nm, k, fd, \dots), \quad k=1 \dots 7, \quad (6)$$

де k – номер типу датчика.

3. Сортування кожної підгрупи по частоті для кожного типу датчиків

$$F_r = D(nm, td, fd, \dots), \quad \text{при } r = \log_2(fd) = 1 \dots 17 \quad (7)$$

де r – порядковий номер відповідної частоти опитування датчиків.

4. Розподіл датчиків в кожній підгрупі F , по каналах груп приладів G

Вибір найбільш гідного розподілу відбувається за мінімальною сумарною інформативністю – за кількістю пристроїв в системі. Розподіл починається з максимально необхідної частоти опитування датчиків в кожній підгрупі F_r , що визначається як

$$F_{max} = \max(F_r) \quad r=1 \dots 17 \quad (8)$$

При розподілу датчиків необхідно враховувати:

а) щоб сумарна частота опитування w -го приладу в системі розраховується як:

$$, \quad (9)$$

де krg – кількість груп в пристрої, не перевищувала максимальну сумарну частоту опитування даного пристрою, зазначену в базі даних.

б) коефіцієнт запаралелювання (від 2 до 8 каналів);

в) наявність каліброваного каналу в першій групі пристрою;

г) необхідність збереження отриманої інформації з датчика в ЗУ.

5. Визначення адрес датчиків, підключених до каналів груп приладів.

При цьому використовується БД адрес каналів приладів і враховується коефіцієнт запаралелювання кожного каналу пристрою.

6. Аналіз доцільності використання тільки однієї (двох) груп в пристрої, і при можливості - перехід на пристрій з меншою кількістю каналів (перехід на пункт 4).

7. Підбір групам пристроїв необхідних параметрів.



Рис 3.4. Алгоритм розподілу датчиків за приладами БТМС

8. Підрахунок орієнтовної інформативності системи.

Інформативність системи (It) розглядається як сума частот опитувань всіх груп приладів інформаційної телеметричної системи (ІТС) (F_r), плюс частоти опитувань частоти опитувань відтворення раніше записаної інформації з груп пристроїв ($F_{r\phi}$), плюс частоти опитувань і відтворення інформації, що надходить з асинхронних джерел даних (НА) (F_{HA} і $F_{HA\phi}$).

$$It = F_r + F_{r\phi} + F_{HA} + F_{HA\phi} \quad (10)$$

Слід мати на увазі, що вся інформативність, виділена на опитування групи приладу, розподіляється рівномірно на опитування кожного каналу в цій групі, і якщо будь-які канали даної групи не задіяні, то ця інформативність пропадає і замість вимірювальної інформації в певні моменти часу надходить сміття.

Висновки до третього розділу

1. До складу БТМС входить велика кількість датчиків, які постійно аналізуються для контролю коректної роботи ТМС.
2. Для забезпечення безперервної та швидкої роботи БТМС необхідно угруповувати, сортувати та розподіляти датчики замість опитування кожного окремого датчика.
3. Кожна бортова інформаційно-телеметрична система має свої особливості при побудові та вимагає гнучкі методи реалізації оптимізації аналізу телеметричної інформації.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Телеметрія – молода галузь науки, яка вивчає експлуатацію комплексів автоматизованих засобів. Телеметричні засоби забезпечують збір та формування усіх сигналів, їх передачу по каналу зв'язку, прийом, реєстрацію та відображення телеметричних повідомлень на прийомній стороні наземної радіостанції

Основою для збору телеметричної інформації являють собою сукупність датчиків (спеціально вбудовані в модуль зв'язку) або зв'язок з об'єктом, до якого підключаються звичайні датчики.

Телеметрія бере свій початок у 1930-х роках і по сьогоднішній день швидко розвивається з ходом розвитку телекомунікаційних систем у різних сферах комунікацій.

Телеметричні системи широко використовуються у таких областях:

- Ракетна техніка;
- Медицина;
- Сільське господарство;
- Правоохоронна діяльність;
- Розумні дома;
- Вузли магістральних ліній;
- Оборона та космос;
- Розвідка, тощо.

Телеметрія – достатньо доступне технічне рішення для великих складних систем, наприклад, таких як: ракети, реактори (реакторний резервуар тиску), космічні апарати, нафтові платформи та хімічні заводи, через те, що вона дозволяє здійснювати автоматичне спостереження, тривожну сигналізацію, записування та збереження даних, необхідних для безпечних, ефективних дій. Такі космічні агентства як NASA, ESA та інші використовують телеметричні системи для збору даних з діючих космічних апаратів та супутників.

Особливостями телеметричних систем безпосередньо сучасних космічних апаратів є: зростання частки інформації від бортової інформаційно-

телеметричної системи; а також зростання вимог до її масогабаритних показників, що пов'язано з розпоширенням використання малих і надмалих космічних апаратів; постійно підвищення вимог щодо забезпечення надійності та безперебойної роботи усіх датчиків бортової апаратури; забезпечення гнучкості та оптимальності передачі інформаційних потоків через єдиний бортовий автоматизований центр управління космічного апарату.

Телметричні системи знайшли своє місце у застосуванні в таких українських космічних апаратах як: «Мікросупутник», «Січ-2», «Либідь».

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мановцев Г.Т. Основы теории радиотелеметрии, - М.: Энергия. – 592с.
2. Бедницкий В.Н., Зверев В.Н., Морозов В.М. и др. Телеметрия. Воениздат.М., 1984.
3. Назаров А.В., Козырев Г.И., Шитов И.В. т др. Современная телеметрия. В теории и на практике: Учебный курс- Санкт-Петербург, 2007.-667с.
4. Рихальский О.Р., Андреев О.В., Топольницкий П.П., Пулеко І.В. Радіотелеметричні засоби командно-вимірювальних комплексів: Конспект лекцій- Житомир, 2005.-264с.
5. Пейсахович Д. Г. Некоторые особенности построения систем передачи телеметрической информации // Молодой ученый. — 2010. — №8. Т. 1. — С. 109-112.
6. Принципы построения телеметрических систем. Космос журнал cosmos-journal.ru. 2011.
7. Колесник К.В., Литус Ю.П., Пискорж В.В. Основные направления совершенствования спутниковых телеметрических систем. 1-й Международный форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития». МРФ-2002г,: Сборник научных трудов. Часть 1.- Харьков: АН ПРЭ, ХНРУЭ.2002-С 160-162.
8. Юрий Векшин. Современные телеметрические системы и датчико-преобразующая аппаратура. Обсуждение принципов построения телеметрических систем. Обзор перспективной датчико-преобразующей аппаратуры. [wekshin.blogspot.com.](http://wekshin.blogspot.com), 2011г.
9. Камнев Е.Ф., Аболиц А.И., Акимов А.А., Белов А.С. Системы спутниковой связи с эллиптическими орбитами, разнесением ветвей и адаптивной обработкой. Глобсатком Москва 2009.
10. А. Аверьянов, Л. Азаренко, Г. Вокин, Н. Кащеев, Л. Мачнева, В. Чаплинский. Введение в ракетно-космическую технику.
11. Дисертація Методы и средства совместной оптимизации структуры и состава аппаратуры бортовой телеметрической системы. Плесковских А.К.

12. Кантор Л.Я, Ноздрин В.В. Элетромагнитная совместимость систем спутниковой связи.

13.

https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Types_of_orbits

14. <http://www.sat.belastro.net/glava2/glava2.php>

15. <http://niskgd.ru/pages/selena-m/tm/index.htm>