

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО"

Радіотехнічний факультет
Кафедра прикладної радіоелектроніки

ЗВІТ
З ПЕРЕДДИПЛОМНОЇ ПРАКТИКИ

Виконав:

Студент 4 курсу, групи РА-91

Ситницький А. Р.



(Прізвище І.П.)

Підпис

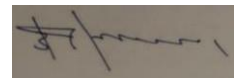
Звіт прийняв:

Шульга А. В.



« ____ » _____ 2023 р.

Дружинін В.А.



(Прізвище І.П.

Підпис керівника практики від кафедри)

« ____ » _____ 2023 р.

ЗМІСТ

1. Перелік скорочень.....	3
2. Вступ.....	4
3. Аналіз сучасного стану та тенденції розвитку супутникових інформаційних систем	5
4. Методика розрахунку енергетичних потенціалів радіоліній.....	7
4.1 Розрахунок енергетичного запасу	8
4.2 Розрахунок еквівалентної шумової температури СІС.....	10
4.3 Втрати радіоліній	11
ВИСНОВКИ	15
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	16

1. Перелік скорочень

КА - космічний апарат

ДП - Державне підприємство

МСЕ - Міжнародний союз електрозв'язку

РЛ - радіолінії

СІС - супутникові інформаційні системи

УДЦР - Український державний центр радіочастот

КА - Космічний апарат

НС - Наземна станція

РС - Радіосигнал

ЩПП - Щільність потоку потужності

МШП - Малошумний підсилювач

ЕІВП - Еквівалентна ізотропна випромінювана потужність

2. Вступ

Супутникові зв'язкові системи стали невід'ємною складовою сучасного світу, забезпечуючи надійне та швидке з'єднання між віддаленими точками нашої планети. Ефективність цих систем визначається не лише якістю супутників та технологічними рішеннями, але й адекватним розрахунком їх енергетичного запасу.

Методика проведення енергетичного розрахунку в трактах системи супутникового зв'язку має вирішальне значення для забезпечення надійності та оптимальної продуктивності зв'язку. Цей розрахунок дозволяє визначити ефективність передачі сигналу від супутника до земної станції, враховуючи різноманітні фактори, такі як відстань між супутником і земною станцією, характеристики антен та втрати сигналу під час передачі.

Проведення енергетичного розрахунку є складним процесом, що вимагає урахування багатьох фізичних та технічних параметрів. Від правильності та точності розрахунків залежить якість зв'язку, швидкість передачі даних та забезпечення необхідного рівня сигналу.

Метою проходження практики було розгляд методик проведення енергетичного розрахунку в трактах системи супутникового зв'язку. В роботі будуть розглянуті основні кроки та алгоритми, які дозволяють виконати розрахунки енергетичного запасу в супутникових трактах. Також будуть вивчені фактори, що впливають на якість зв'язку, та способи оптимізації енергетичних показників системи супутникового зв'язку.

Детальний аналіз та розуміння методики енергетичного розрахунку в системах супутникового зв'язку є важливим кроком для вдосконалення та розвитку цих систем. Добре збалансована енергетична система забезпечує надійність, ефективність та економічність зв'язку, що має велике значення для різних сфер життєдіяльності, включаючи телекомунікації, супутникову навігацію, трансляцію відео та багато інших.

3. Аналіз сучасного стану та тенденції розвитку супутникових інформаційних систем

На даний момент при розробці сучасних супутникових інформаційних систем (СІС) використовуються різні методи розрахунку енергетичного запасу (ЕЗ). Проте не завжди всі фактори, що впливають на енергетику радіолінії, враховуються, що ускладнює співвідношення розрахунків та може призводити до необхідності додаткових перерахунків на наступних етапах. Результати таких перерахунків можуть значно відрізнятись від попередніх.

У цій роботі пропонується методика розрахунку узагальненого енергетичного запасу радіолінії для передачі інформації з космічного апарату на станцію прийому. Багато методів оцінки впливу атмосфери на корисний сигнал базуються на рекомендаціях Міжнародного союзу електров'язку (МСЕ). В цій методиці використовуються розрахунки втрат, спричинених довкіллям, згідно з рекомендаціями МСЕ, а також методи, що враховують втрати, спричинені помилками наведення, ефектом Фарадея та шумовою температурою приймача.

Створення СІС на всіх етапах їх життєвого циклу передбачає розрахунок енергетичного запасу радіолінії. На етапі перед проектуванням проводиться попередній розрахунок енергетичного запасу. На етапі ескізного проекту проводиться аналіз декількох варіантів апаратури з розрахунками енергетичного запасу для кожного з них. На етапі розробки конструкторської документації уточнюються розрахунки обраного варіанту та коригуються на основі наземних та експериментальних випробувань. На етапі експлуатації аналізуються та підтверджуються проведені розрахунки з метою коригування та уточнення методики на основі статистики. Важливо зазначити, що детальний розрахунок з урахуванням впливу земної поверхні та атмосфери вже на етапі перед проектування дозволяє уникнути подальших корекцій вимог до бортової та наземної апаратури.

Наразі відсутня єдина методика оцінки втрат (атмосферних, поляризаційних тощо), що виникають при поширенні сигналу в СІС. Використання частот для систем радіозв'язку та мовлення регламентується МСЕ та ДП "УДЦР". За вимогою збільшення обсягів передаваної інформації з космічного апарату виникають потреби

В збільшенні швидкості передачі, що вимагає більшої ширини смуги частот. Це, у свою чергу, враховується залежно від завантаженості поточного частотного плану, що призводить до збільшення значення частоти коливання-носія.

Кожен діапазон частот має свої специфічні втрати при поширенні сигналу, які потрібно враховувати під час розрахунків. Необхідно проводити детальні розрахунки не лише для сигналів з відомими частотами, але й для новітніх радіоліній - високошвидкісних ліній передачі цільової інформації та між супутникових радіоліній. Оцінка згасання сигналу стає особливо важливою, зважаючи на необхідність забезпечення балансу між зниженням потужності передавачів та підвищенням інформативності.

Таким чином, для досягнення заданих вимог замовника необхідно вирішувати завдання багатокритеріального вибору параметрів радіоліній для передачі інформації з заданою швидкістю та достовірністю. Це включає в себе врахування впливу різних факторів, таких як втрати від атмосфери, поляризаційні втрати, помилки наведення, ефект Фарадея та шумова температура приймача.

Аналіз останніх досліджень вказує на те, що в даний час не існує універсально прийнятої методики для оцінки впливу різних видів втрат (атмосферних, поляризаційних тощо), що виникають при поширенні сигналу. Рекомендації Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ) надають найбільш детальний опис оцінки впливу атмосфери на сигнал.

4. Методика розрахунку енергетичних потенціалів радіоліній

Для забезпечення передачі інформації з необхідною швидкістю і заданою ймовірністю бітової помилки потрібно провести аналіз фізичних процесів, що впливають на поширення радіосигналу на природних радіотрасах. У цьому випадку розглядається передача сигналів за траєкторією «КА-станція», де КА рухається в космічному просторі по заданій орбіті, а станція може бути розташована на поверхні Землі або на деякій висоті над нею.

З міркувань руху КА необхідно визначити максимальну і мінімальну дальності між КА і наземною станцією (НС), а також кут місця, під яким КА спостерігається НС. Ці розрахунки потрібно провести для всіх можливих граничних випадків, щоб визначити діапазон змін щільності потоку потужності (ЩПП) в створі приймальної антени, що визначає вимоги до динамічного діапазону радіоприймача [4].

Під час розрахунку втрат в атмосфері необхідно проаналізувати висоту розташування НС над рівнем моря і встановити, як атмосфера Землі впливає на параметри радіосигналу (РС). Можливість прийому РС і доступність радіолінії (РЛ) визначаються позитивним значенням енергетичного запасу, який розраховується як різниця між енергетичним потенціалом на вході приймального малошумного підсилювача (МШП) і його чутливістю. Для розрахунку енергетичного потенціалу спочатку визначається величина еквівалентної ізотропної випромінюваної потужності (ЕІВП) КА та умови поширення РС.

На рис. 1 показана структурна схема РЛ «КА-НС» і графічне зображення рівня потужності РС [2].

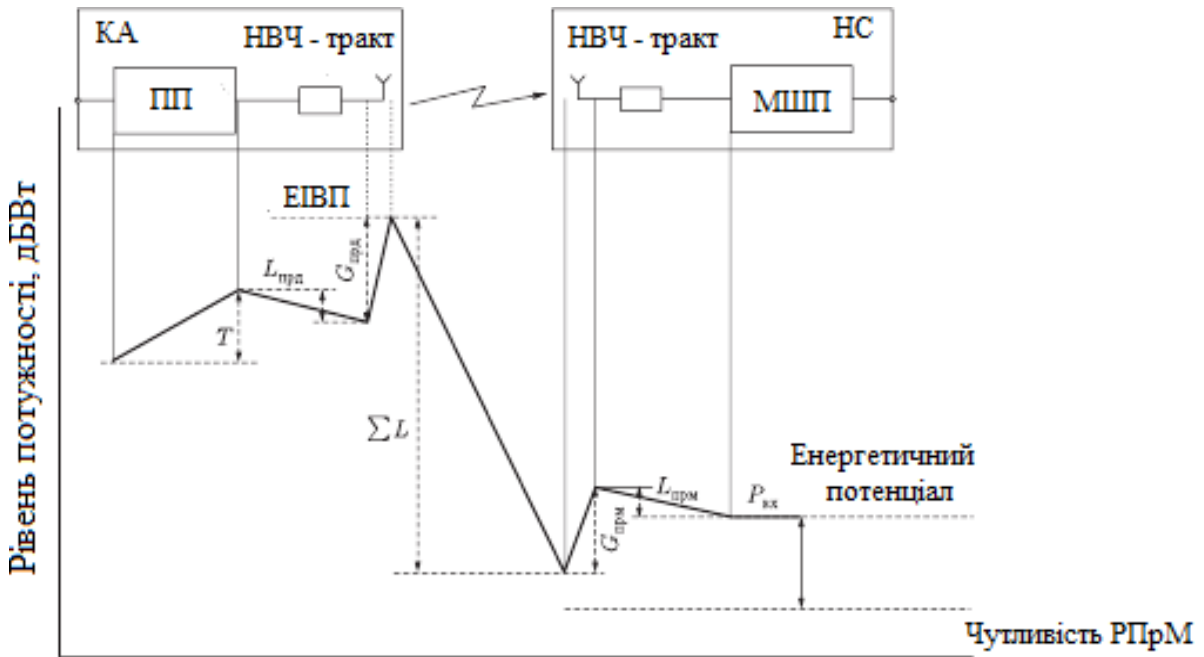


Рис. 1 Структурна схема РЛ «КА-НС» та графічне надання рівня потужності РС.

Тому розрахунок можна розділити на декілька підгруп а саме:

- 4.1. Розрахунок енергетичного запасу
- 4.2. Розрахунок еквівалентної шумової температури СІС
- 4.3. Втрати радіоліній

4.1. Розрахунок енергетичного запасу

Для розрахунку наприклад передача сигналу починається з космічного апарата.

4.1.1 Перший параметр для розрахунку це еквівалентна ізотропна випромінювана потужність

ЕІВП визначається в дБВт та розраховується за наступною формулою[4]:

$$\text{ЕІВП} = G_{\text{прд}} + T - L_{\text{прд}} \quad (\text{дБВт})$$

де:

$G_{\text{прд}}$ - коефіцієнт підсилення передавальної антени, виражається в децибелах відносно ізотропного підсилення;

T - величина потужності РС на виході підсилювача потужності (ПП), дБВт ;

$L_{\text{прд}}$ - втрати у НВЧ-тракті від виходу ПП до входу антени, дБ .

Також для отримання повної картинки потрібно знати потужність випромінювальної антени та чутливість приймальної антени. Бо Чутливість визначає мінімальний рівень потужності сигналу на вході РПрМ, при якій забезпечується прийом інформації з необхідною швидкістю і заданою ймовірністю бітової помилки. Якщо потужність сигналу на вході МШП менше чутливості РПрМ ($Z < 0$), то забезпечити прийом сигналу з необхідною достовірністю неможливо. Але коли рівень потужності сигналу на вході МШП більше чутливості ($Z > 0$), то прийом забезпечується з необхідною достовірністю. І це розраховується за наступними формулами :

4.1.2 Величина потужності РС $P_{\text{вх}}$ на вході МШП розраховується за формулою:

$$P_{\text{вх}} = \text{ЕВІП} - \sum L + G_{\text{ПрМ}} - L_{\text{ПрМ}} \text{ (дБВт)}$$

де:

$\sum L$ - величина сумарних втрат (дБ);

$G_{\text{ПрМ}}$ - коефіцієнт підсилення приймальної антени (дБ);

$L_{\text{ПрМ}}$ - втрати в НВЧ-тракті від виходу антени до МШП (дБ)

4.1.3 Чутливість приймача розраховується за формулою:

$$R_x = k + T_{\text{екв}} + B + \frac{C}{N} \text{ (дБВт)}$$

де: $k = -228,6 * 10^{-23}$ (дБВт/КГц) - постійна Больцмана;

$T_{\text{екв}}$ - еквівалентна шумова температура системи, яка визначається в дБ відносно величини 1 К, дБГц;

$\frac{C}{N}$ - необхідне відношення сигнал/шум (дБ);

B - ширина смуги сигналу, яка визначається в дБ відносно величини 1 Гц, дБГц [1].

4.2. Розрахунок еквівалентної шумової температури СІС

При оцінці енергетичного запасу радіолокаційної системи важливо визначити загальну потужність шумів, які виникають на вході приймача внаслідок різних джерел.

4.2.1 Ця загальна потужність шумів відома як еквівалентна шумова температура і розраховується за певною формулою[2-3]:

$$T_{\text{екв}} = T_A * L_{\text{ПРМ}} + 290 * (1 - L_{\text{ПРМ}}) + (F - 1 * 290) \quad (K)$$

де:

T_A - шумова температура антени, K ;

F - коефіцієнт шуму приймача;

$L_{\text{ПРМ}}$ - втрати у НВЧ-тракті від виходу антени до входу МШП.

4.2.2 Еквівалентна шумова температура для бортової антени (БА) може бути надана у вигляді складових:

$$T_{\text{БА}} = T_{\text{атм}} + T_{\text{зем}} + 2 * c * T_{\text{ксм}} \quad (K)$$

де:

$T_{\text{атм}}$ - шумова температура атмосфери, K ;

$T_{\text{зем}}$ - яскравісна температура Землі, K ;

$T_{\text{ксм}}$ - яскравісна температура протяжних космічних джерел, K ;

c - коефіцієнт, що враховує усереднений рівень бічних і задніх пелюсток діаграми спрямованості антени.

4.2.3 Еквівалентна шумова температура для наземної антени (НА) може бути представлена у вигляді складових[3]:

$$T_{\text{НА}} = T_{\text{ксм}} + T_{\text{атм}} + c * T_{\text{вип.зм}} + T_{\text{обт}} \quad (K)$$

де:

$T_{\text{обт}}$ - шумова температура за рахунок впливу обтічника НА, (K);

$T_{\text{вип.зм}}$ - шумова температура випромінювання Землі, (K).

4.3. Втрати радіоліній

Розрахунок втрат радіоліній має велике значення з наступних причин.

Оцінка передавання сигналу: Різні фактори, такі як втрати в просторі, розсіювання сигналу та інтерференція, спричиняють втрати сигналу у радіолініях. Розрахунок втрат дозволяє оцінити ефективність передавання сигналу від НС до КА.

Планування мережі: Розрахунок втрат радіоліній сприяє плануванню та оптимізації мережі зв'язку. З урахуванням втрат сигналу на різних відстанях та в різних середовищах можна визначити оптимальне розташування НС та орбіти КА.

Тому будуть проведені наступні розрахунки.

4.3.1. Втрати у вільному просторі

Втрати у вільному просторі розраховуються згідно з формулою [2]:

$$L_{\text{пр}} = \left(4\pi \frac{d_{\text{ПРД-ПРМ}}}{\lambda}\right)^2$$

де:

$d_{\text{ПРД-ПРМ}}$ - дальність РЗ, м;

λ – довжина РХ, м.

4.3.2. Втрати помилок наведення антен

Втрати, викликані помилкою наведення, обумовлені неточністю наведення антени і враховуються незалежно як для передавальної, так і для приймальної антен. Коефіцієнт підсилення антени розраховується в максимумі ДСА і зменшується з відступом від нього у відповідності з її характеристикою.

Відступ, який визначає зниження коефіцієнта підсилення антени - помилка кута наведення.

Втрати, викликані помилкою наведення, розраховуються за формулою:

$$L_{\text{нав}} = 12 * \left(\frac{APE}{BW}\right)^2 \quad (\text{дБ})$$

де:

APE – помилка кута наведення, град;

BW - ширина ДСА за рівнем - 3дБ, град.

4.3.3. Поляризаційні втрати

Поляризаційні втрати виникають внаслідок того, що поляризація РХ, яка приходить, відрізняється від поляризації приймальної антени.

Поляризаційні втрати розраховуються по формулі:

$$L_{пол} = -10 \lg \left[1 + \frac{4e_{PRD} e_{PrM} (1-e^2_{PRD})(1-e^2_{PrM}) \cos(2pol)}{(1+e^2_{PRD})(1+e^2_{PrM})} + \frac{e_{PRD} e_{PrM} (1-e^2_{PRD})(1-e^2_{PrM})}{(1+e^2_{PRD})(1+e^2_{PrM})} \right] \quad (\text{дБ})$$

де:

e_{PRD} , e_{PrM} - коефіцієнт еліпсної поляризації передавальної і приймальної антен

(відношення довжин малої напів вісі еліпсу до великої);

pol - вид поляризації

4.3.4 Згасання в атмосфері

При поширенні РХ в земній атмосфері виникає послаблення напруженості поля за рахунок поглинання в газах, розсіяння і поглинання в гідро метеорах (дощі, град, снігу, тумані, хмарах), а також за рахунок поглинання в іонізованих шарах.

Основне поглинання РХ викликає кисень і водяна пара.

При розгляді впливу тропосфери на поширення РХ необхідно враховувати основні чинники: рефракцію РХ, пере випромінювання гідро метеорами тропосфери, послаблення газами і гідро метеорами і деполіаризацію.

Також необхідно враховувати таке явище, як поглинання в іоносфері. Воно обумовлено зіткненнями вільних заряджених часток з нейтральними молекулами і атомами.

У процесі таких зіткнень енергія заряджених часток за рахунок виникнення впорядкованої швидкості при дії ЕМП, передається нейтральним молекулам і атомам, тобто мають місце теплові втрати.

Поглинання в іоносфері суттєво зменшується при збільшенні частоти f (обернено пропорційні до квадрата частоти) в наслідок інерційності заряджених часток.

Поглинання стає дуже малим на частотах вище 100-150 МГц, тобто його можна не враховувати в тих діапазонах частот, які застосовуються в сучасних системах зв'язку

і мовлення з використанням космічних апаратів. Усі перераховані явища мають

залежність від частоти, географічного положення і кута місця. Залежність явищ, які виникають в атмосфері. У лівому стовпці наводиться тип послаблення, в правому - залежність цього явища від різних факторів впливу.

Загальне сумарне послаблення РС в атмосфері обчислюється за формулою :

$$A_t = A_g + ((A_r + A_t)^2 + A^2)^{0.5} \quad (\text{дБ}).$$

4.3.5. Послаблення в хмарах

Величину послаблення внаслідок впливу хмарності на похилих трасах розрахується за такою формулою :

$$A_c = \frac{LK_i}{\sin \theta} \quad (\text{дБ}) \quad \text{де:}$$

θ - кут місця;

L - статистика загального стовбчастого об'єму рідкої води над Країною;

K_l - коефіцієнт погонного послаблення.

4.3.6. Послаблення в дощі

Послаблення РС в гідро метеорах викликане, по-перше, розсіянням електромагнітної енергії частками. Під впливом того, що кожна частка стає вторинним джерелом випромінювання в різних напрямках, зменшується доля енергії, в точці прийому РС. Друга причина послаблення напруженості поля в гідро метеорах - нерезонансне поглинання в частках, також залежне від їх кількості, електричних властивостей і частоти. Це явище залежить від частоти, кута місця і інтенсивності опадів. Вплив дощу обчислюється наступним чином:

$$A_r = A_{0,01} \cdot \left(\frac{p}{0,01} \right)^{-(0,655+0,033 \ln(p)-0,045 \ln(A_{0,01})-\beta(1-p) \sin \theta)} \quad (\text{дБ}).$$

де:

$A_{0,01}$ - прогнозоване значення послаблення, дБ;

p - відсоток пори середнього року, %.

4.3.7. Послаблення в атмосферних газах

Послаблення РС викликане явищем поглинання в атмосферних газах і залежить від частоти, кута місця, висоти над рівнем моря і щільності водяної пари.

Послаблення на трасі для систем зв'язку можна розрахувати, розділивши атмосферу на горизонтальні шари, що визначають профіль зміни таких параметрів, як тиск, температура і вологість уздовж траси.

Повні втрати в атмосферних газах розраховуються за формулою [4]

$$A_g = \sum_{n=1}^k a_n * \gamma_r \quad (\text{дБ}).$$

де:

a_n - довжина ділянки траси в шарі, км.

Для розрахунку загального згасання на супутниковій ЛЗ необхідно знати не лише погонне згасання в кожній точці лінії, але і довжину траси, на якій виникає погонне згасання такої величини.

Щоб визначити цю довжину, необхідно врахувати викривлення променя, що поширюється над Землею.

4.3.8. Послаблення за рахунок тропосферних мерехтінь

Величина тропосферних мерехтінь залежить від величини і структури змін індексу рефракції, збільшуючись із зростанням частоти і довжини траси, що проходить через середовище поширення, і зменшуючись у міру звуження ДСА за рахунок усереднювання її апертури. Глибина завмирань розраховується за наступною формулою[2]:

$$A_s = a(p)\sigma \quad (\text{дБ})$$

де:

σ - стандартне відхилення сигналу для даного періоду і траси розповсюдження, дБ;

$a(p)$ - коефіцієнт відсотка часу.

Висновки

З практики розрахунку супутникових інформаційних систем можна зробити декілька висновків. Розрахунок таких систем є складним завданням, що вимагає знань з різних дисциплін. Точність розрахунків має велике значення для ефективності системи. Навіть невеликі похибки можуть призводити до значних відхилень інформації. Оптимізація розрахунків є важливою для покращення ефективності системи та зниження витрат. Розрахунок супутникових інформаційних систем є постійним процесом, оскільки технології та вимоги постійно змінюються. Гнучкість і готовність до змін є важливими аспектами у розвитку таких систем.

Список використаних джерел

1. Цифровий зв'язок. Теоретичні основи та практичне використання. / Скляр Б. / Пер. с англ. М.: ИД «Вільямс», 2003. 1104 стр.
2. Антени. Підручник для студентів радіотехнічних спеціальностей. / Марков Г.Т., Сазонов Д.М. / 2-ге вид., перероб. и допов. М: Енергія, 1975. 523 стр.
3. Супутниковий зв'язок та мовлення / Під ред. Л.Я. Кантора. /2-ге вид. М: Радіо та зв'язок , 1988.
4. Конспект лекцій з дисципліни супутникові та радіорелейні системи передачі / Сайко В.Г., Казіміренко В.Я / 2015

