



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ЗВ'ЯЗКУ
ім. О.С. ПОПОВА

Кафедра технічної електродинаміки та систем радіозв'язку

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для виконання курсового проекту

«Розрахунок та аналіз супутникового каналу зв'язку»

з дисципліни

«Супутникові системи зв'язку»

для студентів Навчально-наукового інституту
радіо, телебачення і електроніки

Одеса 2013

Укладачі: М.Б. Проценко, І.Ю. Рожновська

Рецензенти: доц. кафедри ТЕД та СРЗ, доц. ОНАЗ Бойко М.П.,
доц. кафедри ТЕД та СРЗ, к.т.н. Бухан Д.Ю.

Методичні вказівки для виконання курсового проекту «Розрахунок та аналіз супутникового каналу зв'язку» з **дисципліни** «Супутникові системи зв'язку» / Укл. М.Б. Проценко, І.Ю. Рожновська. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2013. – 28 с.

Метою методичних вказівок є надання допомоги студентам при вивченні дисципліни «Супутникові системи зв'язку» та виконанні курсового проекту на тему «Розрахунок та аналіз супутникового каналу зв'язку».

Методичні вказівки призначені для студентів Навчально-наукового інституту радіо, телебачення і електроніки.

СХВАЛЕНО

на засіданні методичного семінару
кафедри технічної електродинаміки
та систем радіозв'язку.

Протокол № 3 від 12 березня 2013 р.

ЗАТВЕРДЖЕНО

методичною радою ОНАЗ
ім. О.С. Попова.

Протокол № 3/14 від 9 квітня 2013 р.

ЗМІСТ

1 Загальні вимоги до курсового проекту.....	4
2 Методичні вказівки для виконання курсового проекту.....	7
2.1 Короткий зміст розділів курсового проекту.....	7
2.2 Розрахунок параметрів наведення антен земних станцій спутникових систем зв'язку.....	8
2.3 Аналіз геометричних та електродинамічних параметрів антен систем супутникового зв'язку.....	10
2.4 Дослідження енергетичних характеристик супутникових си- стем радіозв'язку	11
2.5 Урахування впливу реальних умов при розповсюдженні радіохвиль у супутникових каналах зв'язку.....	17
Рекомендована література.....	20
Додаток А. Зразок титульного листа.....	21
Додаток Б. Зразок листа технічного завдання.....	22
Додаток В. Варіанти завдання на 2013/2014 навчальний рік.....	24
Додаток Г. Довідкові дані.....	26

1 ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Курсовий проект – це документ, що є формою звітності самостійної роботи студента, який включає аналітичну, графічну та розрахункову частину, і що є одним із основних видів навчальних занять та формою контролю поточної навчальної роботи студента.

Виконання даного курсового проекту здійснюється на завершальному етапі вивчення дисципліни «Супутникові системи зв'язку», в ході якого застосовуються отримані знання й уміння при вирішенні комплексних завдань, пов'язаних з проектуванням супутникових систем зв'язку.

Мета курсового проекту:

- систематизація та закріплення отриманих теоретичних знань та практичних умінь з дисципліни «Супутникові системи зв'язку»;
- поглиблення теоретичних знань з теми «Супутникові системи зв'язку»;
- формування умінь застосовувати теоретичні знання при вирішенні поставлених завдань, а саме: розрахунок параметрів наведення антен земних станцій супутникових систем зв'язку; аналіз геометричних та електродинамічних параметрів антен систем супутникового зв'язку; дослідження енергетичних характеристик супутникових систем радіозв'язку; урахування впливу реальних умов при розповсюдженні радіохвиль у супутникових каналах зв'язку;
- формування умінь використовувати довідкову літературу, нормативну та правову документацію;
- розвиток у студентів логічного мислення, умінь аргументовано висловлювати думки при аналізі теоретичних проблем та практичних прикладів у процесі роботи;
- підготовка до виконання дипломних проектів спеціалістів.

Курсовий проект виконується відповідно до завдання і плану-графіка (див. Додаток Б – Зразок листа технічного завдання) під керівництвом викладача, що є науковим керівником. Завдання на виконання курсового проекту є нормативним документом, що встановлює межі й глибину дослідження (розробки) теми, а також терміни подання проекту в завершеному вигляді. План-графік виконання курсового проекту містить відомості про етапи роботи, терміни виконання завдання, відмітки наукового керівника про виконання обсягів роботи. Виконання курсового проекту може бути замінено на виконання науково-дослідної або творчої роботи.

Розміщення матеріалу в курсовому проекті наступне:

- титульний лист встановленого зразка (див. Додаток А);
- лист технічного завдання (див. Додаток Б);
- зміст;
- вступ;
- основна текстова частина, представлена за розділами;
- висновки;
- перелік посилань;
- додатки.

Об'єм курсового проекту повинен бути не менше 25 та не більше 40 машинописних сторінок. Курсовий проект повинен бути набраний на комп'ютері в текстовому редакторі WORD з дотриманням наступних вимог:

- текстова частина разом з ілюстраціями повинна бути віддрукована на одній стороні листа білого паперу формату А4 (297 х 210 мм) з полями не менше: ліве – 25 мм, верхнє та нижнє – 20 мм; праве – 10 мм;
- шрифт – Times New Roman або подібний;
- розмір шрифту – 14;
- таблиці оформлюються шрифтом розміром – 12;
- міжрядковий інтервал – 1,2;
- нумерація сторінок – наскрізна.

Формули розміщують безпосередньо після тексту, в якому вони згадуються, посередині рядка з відступом (інтервалом) зверху та знизу не менше одного рядка або 6 пт. Номер формули ставиться на її рівні в круглих дужках у крайньому правому положенні рядка й складається з номера розділу та порядкового номера формули, відокремлених крапкою, наприклад, (2.2) – друга формула другого розділу.

Пояснення значень символів і числових коефіцієнтів, які входять у формулу, необхідно наводити безпосередньо під формулою в тій послідовності, в якій вони наведені у формулі. У формулах латинські літери друкуються курсивом, крім математичних функцій: sin, cos, lg, exp, tg, min і т. п.

Результати розрахунків супроводжуються вказівкою відповідних одиниць вимірювання. Порядок обчислень: основна формула – підстановка чисельних даних без їх будь-якого перетворення в послідовності позначень у формулі – остаточний результат з вказівкою розмірності. Розрахунки необхідно виконувати не більше ніж до трьох значущих цифр.

Графічну частину курсового проекту складають ілюстрації (схеми, графіки, діаграми і тому подібне), які називаються рисунками. На всі рисунки необхідні посилання в тексті, при цьому можна використовувати скорочення, наприклад, рис. 3.1. (перший рисунок в розд. 3). У разі використання рисунка, виконаного іншим автором, обов'язково необхідно дати посилання на джерело. Рисунок розташовують безпосередньо після тексту, де він вперше згадується, або на наступній сторінці. Номер і назва рисунка розміщується внизу під рисунком.

Курсовий проект захищається перед комісією, що призначається з числа професорсько-викладацького складу кафедри технічної електродинаміки та систем радіозв'язку. Захист курсових проектів, у тому числі й повторний, але не більше двох разів, повинен завершитися до початку екзаменаційної сесії. Студент, що не захистив в установлений термін курсовий проект, або отримав незадовільну оцінку, вважається таким, що має академічну заборгованість.

При захисті курсового проекту можуть бути поставлені питання, як з теоретичної, так і з практичної частин роботи. Підсумкова оцінка знижується за:

- невідповідність виконаної роботи виданому завданню;

- помилки у формальних викладеннях та чисельних розрахунках, невірне графічне відображення й помилкову інтерпретацію отриманих результатів;
- неправильні відповіді на питання з теоретичної та практичної частин роботи;
- наявність орфографічних і синтаксичних помилок;
- невідповідність вимогам до оформлення.

Згідно з номенклатурою справ курсові проекти враховуються і зберігаються на кафедрі технічної електродинаміки та систем радіозв'язку протягом одного року.

2 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

2.1 Короткий зміст розділів курсового проекту

У **вступі** стисло описуються: актуальність розгортання й удосконалення систем супутникового зв'язку, необхідність попереднього аналізу геометричних та електродинамічних параметрів антен систем супутникового зв'язку, включаючи розрахунок параметрів наведення антен земних станцій (ЗС), енергетичних характеристик та врахування впливу реальних умов при розповсюдженні радіохвиль у супутникових каналах зв'язку.

Далі формулюється мета курсового проекту – розрахунок та аналіз супутникового каналу зв'язку, а також завдання для досягнення поставленої мети відповідно до назв відповідних розділів курсового проекту.

Орієнтовний обсяг вступу – 0,5...1 сторінка.

У **розділі 1** описуються основні принципи організації супутникових систем зв'язку (ССЗ) (**структурна схема супутникової системи радіозв'язку**), переваги та недоліки ССЗ, особливості проектування ССЗ (діапазони частот, виділені для супутникових систем зв'язку, мовлення та навігації), чинники, що впливають на розповсюдження радіохвиль у сантиметровому діапазоні у ССЗ (область простору, істотна при розповсюдженні радіохвиль; замирання сигналу в реальних умовах розповсюдження, їх причини та різновиди; рефракція радіохвиль в тропосфері й іоносфері, її причини та різновиди і т.д.).

Орієнтовний обсяг даного розділу – 5...10 сторінок.

У **розділі 2** визначаються географічні координати ЗС, розташованої в м. Одеса, і проводиться розрахунок необхідних значень азимута та кута місця осі променя антени ЗС, що орієнтована на штучний супутник Землі (ШСЗ), який розміщено на геостаціонарній орбіті в заданій для кожного варіанта позиції (див. табл. В.1, Додаток В). На підставі проведених розрахунків робиться висновок про можливість приймання/передавання радіосигналів на заданий ШСЗ.

Методичні вказівки до виконання розрахункової частини даного розділу наведені в п. 2.2.

Орієнтовний обсяг даного розділу – 1...2 сторінок.

У **розділі 3** проводиться розрахунок геометричних та електродинамічних параметрів параболічної антени, яка використовується для організації прольоту супутникової лінії зв'язку, таких як діаметр апертури параболічної антени, площа її апертури та коефіцієнт посилення (КП) антени з урахуванням заданих значень частоти високочастотного коливання, необхідної ширини головної пелюстки діаграми спрямованості (ДС) антени за рівнем половинної потужності та передбачуваного коефіцієнта використання поверхні (КВП) антени (див. табл. В.2, Додаток В).

Методичні вказівки до виконання розрахункової частини даного розділу наведені в п. 2.3.

Орієнтовний обсяг даного розділу – 1...2 сторінок.

У **розділі 4** проводиться розрахунок відношення сигнал/шум на вході при-

ймального пристрою відповідної апаратури ССЗ, на підставі якого оцінюється працездатність супутникового каналу зв'язку.

Методичні вказівки до виконання розрахункової частини даного розділу наведені в п. 2.4.

Орієнтовний обсяг даного розділу – 4...7 сторінок.

У **розділі 5** проводиться розрахунок відношення сигнал/шум на вході приймального пристрою відповідної апаратури ССЗ з урахуванням послаблення радіосигналу в газах тропосфери (кисні й водяній парі), а також з урахуванням поглинання в дощі та оцінюється працездатність супутникового каналу зв'язку з урахуванням реальних умов розповсюдження.

Методичні вказівки до виконання розрахункової частини даного розділу наведені в п. 2.5.

Орієнтовний обсяг даного розділу – 4...5 сторінок.

У **висновках** стисло описуються отримані результати, їх аналіз та оцінка, на підставі чого робиться висновок про працездатність спроектованої лінії ССЗ, формулюються рекомендації щодо підвищення енергетичних характеристик супутникового каналу зв'язку.

Орієнтовний обсяг висновків – 0,5...1 сторінка.

Перелік посилань включає тільки ті літературні джерела (посібники, статті, включаючи дані методичні вказівки), які були використані при виконанні курсового проекту та на яких є відповідні посилання. Посилання в тексті курсового проекту наводяться в квадратних дужках, в яких проставляється номер, під яким літературне джерело надане в переліку посилань.

Назви літературних джерел в переліку посилань надаються мовою оригіналу та оформлюються відповідно до ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. При використанні електронних видань необхідно вказувати назву сайту, Web-сторінки.

Орієнтовний обсяг переліку посилань – 0,5...1 сторінка.

У **додатках** розміщується матеріал, який необхідний для повноти курсового проекту, проте через великий обсяг або спосіб подання не може бути розміщений в основній частині. Додатки можуть містити: фотографії; фрагменти географічних карт; проміжні математичні докази й розрахунки; методику розробки та опис комп'ютерних програм, опис апаратури і т.п. Додатки позначаються послідовно великими буквами алфавіту.

Обсяг додатків необмежений.

2.2 Розрахунок параметрів наведення антен земних станцій супутникових систем зв'язку

Дані за параметрами наведення необхідні для орієнтації максимуму головної пелюстки ДС антени ЗС супутникових систем зв'язку на ШСЗ.

Це, в першу чергу, стосується:

- нових ЗС;
- ЗС, що переводяться на роботу через інший ШСЗ;
- ЗС, що тимчасово припиняв роботу у системі з різних причин.

Як параметри наведення антени ЗС використовуються кутові координати напрямку максимуму головної пелюстки ДС на ШСЗ по азимуту $\alpha_{\text{ШСЗ}}$ і куту місця $\beta_{\text{ШСЗ}}$. Наближені значення кутових координат $\alpha_{\text{ШСЗ}}$ і $\beta_{\text{ШСЗ}}$ можуть бути розраховані за формулами або визначені за допомогою спеціальних таблиць. Слід зазначити, що точні значення параметрів наведення для будь-якого часу доби можуть бути отримані лише безпосередньо при роботі системи наведення антени ЗС за сигналами, що приймаються з ШСЗ.

Для розрахунку параметрів наведення для конкретної ЗС необхідно мати наступні дані:

- номінальне положення ШСЗ на орбіті;
- відхилення ШСЗ від номінального положення в перебігу доби;
- точні географічні координати ЗС;
- дані прив'язки антени до кутових координат: по азимуту і куту місця.

Прив'язка антени по азимуту може бути проведена або по Полярній зірці, або за компасом з урахуванням магнітного нахилу в місці розташування ЗС.

Розрахунок **кута місця** антени ЗС проводиться за формулою

$$\beta_{\text{ШСЗ}} = \arctg \left[\frac{\cos \lambda_R - \lambda_P \cos(\varphi_R) - \frac{R_3}{R_3 + H}}{\sqrt{1 - \cos^2 \lambda_R - \lambda_P \cos^2(\varphi_R)}} \right], \quad (2.1)$$

де λ_P – географічна довгота координата підсупутникової точки;

λ_R, φ_R – географічні довгота і широта місця розташування ЗС;

R_3 – радіус Землі ($R_3 = 6\,378,16$ км);

H – висота геостаціонарної орбіти ($H = 35\,786$ км).

Формула для розрахунку **азимута** антени ЗС має наступний вигляд:

$$\alpha_{\text{ШСЗ}} = 180^\circ - \arctg \left[\frac{\operatorname{tg} \lambda_R - \lambda_P}{\sin(\varphi_R)} \right]. \quad (2.2)$$

Позитивний напрям азимута визначається при повороті антени ЗС від напрямку на північ за годинниковою стрілкою.

Для оцінки можливості приймання/передавання радіосигналів на заданій ШСЗ необхідно порівняти отримані чисельні значення кута місця і азимута з допустимими значеннями. ШСЗ, що знаходяться на геостаціонарній орбіті, вважаються доступними для приймання сигналів з території України в межах кутів: $10^\circ \leq \beta_{\text{ШСЗ}} \leq 36,5^\circ$ і $\alpha_{\text{ШСЗ}} \approx 180^\circ \pm 70^\circ$.

$$f(r) = |1 - (1 - \Delta)r^2|,$$

де Δ – амплітуда поля по краю випромінюючого розкриву; $-1 \leq r \leq 1$ – точна нормована координата розкриву.

Вид цього розподілу визначає форму і параметри ДС антени (ширину головної пелюстки, рівень бічного випромінювання) при заданому розмірі розкриву d_A/λ .

Формула для розрахунку діаграми спрямованості параболічної антени з урахуванням представленого амплітудного розподілу поля в апертурі матиме вигляд:

$$f(\theta) = \left| \frac{\Delta J_1(u)}{u} + 2 \frac{(1 - \Delta) J_2(u)}{u^2} \right|,$$

де $u = 0,5kd_A \sin \theta$; $k = 2\pi/\lambda$; $J_1(u)$, $J_2(u)$ – функції Бесселя першого роду, першого і другого порядків відповідно.

Взаємозв'язок між шириною головної пелюстки ДС антени за рівнем половинної потужності – $2\Delta \theta_{0,5}$, град., відносним діаметром апертури параболічної антени – d_A/λ та КВП антени – η можна визначити за наступною формулою

$$2\Delta \theta_{0,5} \text{ (град)} \approx \frac{1}{\sqrt{\eta}} \cdot \frac{\lambda}{d_A} \cdot \frac{180}{\pi}, \quad (2.3)$$

де λ – довжина хвилі електромагнітного коливання ($\lambda = c/f$, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с).

Взаємозв'язок між КП антени G та геометричними параметрами апертури антени (відносною площею апертури – S_A/λ^2) з урахуванням КВП антени η можна визначити за наступною наближеною формулою

$$G \text{ (раз)} \approx \frac{4\pi S_A \eta}{\lambda^2}; \quad G \text{ (дБі)} = 10 \times \lg(G \text{ (раз)}), \quad (2.4)$$

де $S_A = \pi d_A^2/4$ – площа круглої апертури з діаметром d_A , або безпосередньо в логарифмічному вигляді за формулою

$$G \text{ (дБі)} = 20 \lg(d_A) + 20 \lg(f) + 10 \lg(\eta) + 20,4, \quad (2.5)$$

де діаметр параболічної антени d_A у метрах; частота високочастотного коливання f у ГГц.

2.4 Дослідження енергетичних характеристик супутникових систем радіозв'язку

Структурна схема супутникового зв'язку між ЗС при активній ретрансляції сигналу представлена на рис. 2.3.

Інформаційний сигнал від джерела повідомлень (ДП) підводиться до

передавача (ПРД) земної станції ЗС₁, де здійснюється модуляція коливань з частотою несучої f_1 . Ці коливання підводяться до антени А_{ЗС1} та випромінюються у бік ШСЗ, де приймаються бортовою антеною А_{ШСЗ} ретранслятора. Потім коливання з частотою f_1 надходять через розподільчий фільтр (РФ) на приймач ПРМ_{ШСЗ}, де перетворюються, і далі надходять на передавач ПРД_{ШСЗ}. З виходу передавача коливання вже з частотою f_2 через РФ підводяться до бортової антени А_{ШСЗ} і випромінюються у бік Землі.

Рисунок 2.3 – Структурна схема супутникової системи радіозв'язку

Ці коливання приймаються антеною А_{ЗС2} земної станції ЗС₂, підводяться до приймача (ПРМ), на виході якого виділяється інформаційний сигнал та передається отримувачу повідомлення (ОП).

В окремому випадку супутникова система радіозв'язку складається з двох інтервалів. Особливістю розрахунку її основних енергетичних характеристик є необхідність урахування апаратурних особливостей інтервалів «вгору» та «вниз», а також різних енергетичних потенціалів на цих інтервалах. Результатом енергетичного розрахунку супутникової системи радіозв'язку є відношення сигнал/шум в радіоканалі, які з урахуванням двох інтервалів визначатимуться окремо для кожного напрямку передачі: ЗС → ШСЗ та ШСЗ → ЗС.

Визначення відношення сигнал/шум на вході приймача. Радіопередавач зі всенаправленою антеною ізотропно (однаково в усіх напрямках) випромінює радіосигнал потужністю $P_{\text{прд}}$ та створює на відстані d густину потоку потужності Π

$$\Pi = \frac{P_{\text{прд}}}{4\pi d^2}. \quad (2.6)$$

Застосування направленої антени з коефіцієнтом посилення $G_{\text{прд}}$ збільшує щільність потоку потужності Π на відстані d , яка у напрямі максимального випромінювання складатиме

$$\Pi = \frac{P_{\text{прд}} G_{\text{прд}}}{4\pi d^2}. \quad (2.7)$$

Коефіцієнт посилення направленої антени показує вигаи за потужністю даної антени порівняно з ізотропною (ненаправленою) антенною, з урахуванням втрат потужності в антені, тобто з урахуванням коефіцієнта корисної дії антени.

Для системи радіозв'язку, що розташована у вільному просторі (без урахування втрат в реальній атмосфері), у тому числі супутникової, при прийманні радіосигналів на антену з ефективною площею $S_{\text{АЕ}}$ потужність сигналу на вході приймача визначається за допомогою виразу

$$P_{\text{прм}} = \Pi S_{\text{АЕ}} = \frac{P_{\text{прд}} G_{\text{прд}} S_{\text{АЕ}}}{4\pi d^2}. \quad (2.8)$$

Ефективна площа приймальної антени – це коефіцієнт, що має розмірність площі та дорівнює відношенню потужності, що віддається антенною в приймач, до величини густини потоку потужності $S_{\text{АЕ}} = P_{\text{прм}}/\Pi$.

Ефективна площа антени $S_{\text{АЕ}}$ визначається геометричною площею апертури антени $S_{\text{А}}$ і коефіцієнтом використання поверхні антени (КВП), де $\eta \approx 0,5 \dots 0,8$

$$S_{\text{АЕ}} = S_{\text{А}} \eta, \quad (2.9)$$

і, крім того, ефективна площа антени пов'язана з коефіцієнтом посилення $G_{\text{прм}}$ антени наступним наближеним співвідношенням,

$$S_{\text{АЕ}} \approx \frac{G_{\text{прм}} \lambda^2}{4\pi}, \quad (2.10)$$

де $\lambda = c/f$ – довжина хвилі (м);

c – швидкість світла у вільному просторі ($3 \cdot 10^8$ м/с);

f – частота високочастотного колювання (Гц).

З урахуванням (2.10) перепишемо (2.8) у наступному вигляді

$$P_{\text{прм}} = P_{\text{прд}} G_{\text{прд}} G_{\text{прм}} V_0^2, \quad (2.11)$$

де $V_0^2 = (\lambda/4\pi d)^2$ – множник послаблення радіосигналу у вільному просторі;

d – відстань між передавачем і приймачем.

На вході приймача крім корисного радіосигналу завжди присутні шуми рі-

зного походження, які ускладнюють приймання корисного радіосигналу. Найбільший внесок до потужності шумів приймача вносять «теплові шуми», потужність яких, перерахована на вхід приймача, визначається за виразом

$$P_{\text{ш}} = k T_{\text{ш}} \Delta f, \quad (2.12)$$

де $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Вт}(\text{К} \cdot \text{Гц})^{-1}$ – постійна Больцмана;

$T_{\text{ш}}$ – еквівалентна шумова температура приймальної системи в градусах Кельвіна;

Δf – смуга пропускання приймача.

Відношенням сигнал/шум (С/Ш) називають відношення потужності сигналу до потужності шуму на вході приймача, яке з урахуванням (2.11) і (2.12) може бути розраховано за формулою

$$(C/Ш) = \left(\frac{P_{\text{іді}}}{P_{\text{ш}}} \right)_{\text{âõ}} = \frac{P_{\text{ідâ}} G_{\text{ідâ}} G_{\text{іді}}}{k T_{\text{ш}} \Delta f} V_0^2 = \frac{EIRP Q}{k \Delta f} V_0^2, \quad (2.13)$$

де добуток $EIRP = P_{\text{ідâ}} G_{\text{ідâ}}$ прийнято називати еквівалентною (ефективною) ізотропно випромінюваною потужністю (ЕІВП), а відношення $G_{\text{іді}} / T_{\text{ш}} = Q$ – добротністю (якістю) приймальної системи.

Працездатність будь-якої системи зв'язку, у тому числі супутникової, оцінюється порівнянням мінімально допустимого відношення сигнал/шум на вході приймача $(C/Ш)_{\text{мін}}$ з реальним відношенням сигнал/шум $(C/Ш)_{\text{реал}}$:

- система зв'язку працездатна, якщо $(C/Ш)_{\text{реал}} > (C/Ш)_{\text{мін}}$;
- система зв'язку працює зі збоями, якщо $(C/Ш)_{\text{реал}} \approx (C/Ш)_{\text{мін}}$;
- система зв'язку непрацездатна, якщо $(C/Ш)_{\text{реал}} < (C/Ш)_{\text{мін}}$.

Відношення сигнал/шум на вході приймачів супутникової системи радіозв'язку. Для напрямку передачі ЗС \rightarrow ШСЗ

$$\left(\frac{P_{\text{іді}}}{P_{\text{ш}}} \right)_{\text{âõ} \text{ } \emptyset \text{ } \text{ÑÇ}} = \frac{EIRP_{\text{ÇÑ}} Q_{\text{ш}} \text{ÑÇ}}{k \Delta f} V_0^2. \quad (2.14)$$

Для напрямку передачі ШСЗ \rightarrow ЗС

$$\left(\frac{P_{\text{іді}}}{P_{\text{ш}}} \right)_{\text{âõ} \text{ } \text{ÇÑ}} = \frac{EIRP_{\text{ш}} \text{ÑÇ} Q_{\text{ÇÑ}}}{k \Delta f} V_0^2. \quad (2.15)$$

Як випливає з (2.14) та (2.15), відношення сигнал/шум $(P_{\text{іді}} / P_{\text{ш}})_{\text{âõ}}$ визначаються добутками $EIRP_{\text{ÇÑ}} Q_{\text{ш}} \text{ÑÇ}$ (лінія вгору) та $EIRP_{\text{ш}} \text{ÑÇ} Q_{\text{ÇÑ}}$ (лінія вниз), які повинні бути по можливості великі. Оскільки добротність приймальної си-

стеми ШСЗ $Q_{\emptyset \text{ ÑÇ}}$ не може бути великою, то збільшення добутку $EIRP_{\text{ÇÑ}} Q_{\emptyset \text{ ÑÇ}}$ досягається за рахунок ЕІВП земної станції $EIRP_{\text{ÇÑ}}$. Через порівняно малу ЕІВП ШСЗ $EIRP_{\emptyset \text{ ÑÇ}}$ збільшення добутку $EIRP_{\emptyset \text{ ÑÇ}} Q_{\text{ÇÑ}}$ отримується за рахунок збільшення добротності приймальної системи земної станції $Q_{\text{ÇÑ}}$. Звідси впливає, що необхідні енергетичні параметри супутникового каналу радіозв'язку забезпечуються покращенням параметрів земної станції.

Для розрахунку відношення сигнал/шум на вході приймального пристрою відповідної апаратури системи супутникового зв'язку можна скористатися формулами (2.14) та (2.15) залежно від аналізованого напрямку передачі.

1) Еквівалентна ізотропно випромінювана потужність (ЕІВП) розраховується за формулою

$$EIRP = P_{\text{іđä}} G_{\text{іđä}},$$

де $P_{\text{іđä}}$ – потужність передавача;

$G_{\text{іđä}}$ – коефіцієнт посилення передавальної антени в разях.

Чисельні значення $P_{\text{іđä}}$ наведені в табл. В.3, Додаток В, а $G_{\text{іđä}}$, залежно від аналізованого напрямку передачі, наведені або в табл. В3, Додаток В, якщо напрям передачі **ШСЗ → ЗС**, або визначені в результаті розрахунків в третьому розділі курсового проекту, якщо напрям передачі **ЗС → ШСЗ**.

2) Добротність приймальної системи розраховується за формулою

$$Q = G_{\text{іđі}} / T_{\emptyset},$$

де $G_{\text{іđі}}$ – коефіцієнт посилення приймальної антени в разях;

T_{\emptyset} – еквівалентна шумова температура приймальної системи в градусах Кельвіна.

Чисельні значення $G_{\text{іđі}}$ залежно від аналізованого напрямку передачі визначені або в табл. В3, Додаток В, якщо напрям передачі **ЗС → ШСЗ**, або в результаті розрахунків в третьому розділі курсового проекту, якщо напрям передачі **ШСЗ → ЗС**.

Еквівалентна шумова температура T_{\emptyset} приймального пристрою апаратури супутникового зв'язку залежить від безлічі чинників, зокрема від місцезнаходження приймального пристрою (у складі апаратури ЗС або ШСЗ), діапазону частот, що використовується, згасання в антенно-фідерному тракці, кута місця (для апаратури ЗС), місцезнаходження та тілесних кутів позаземних джерел випромінювання, що спостерігаються з поверхні Землі і т.д.

З урахуванням ряду наближень, а саме, якщо знехтувати втратами в антенно-фідерних трактах, еквівалентна шумова температура T_{\emptyset} приймального пристрою апаратури супутникового зв'язку може бути визначена на підставі виразу:

$$T_{\emptyset} = T_{\emptyset \text{ іđ}} + T_{\emptyset \text{ äòì}}(\beta) + T_{\emptyset \text{ Ç}}(\beta) + T_{\emptyset \text{ Ê}},$$

де $T_{\sigma \text{ ід}}$ – еквівалентна шумова температура, що характеризує власні шуми приймача, віднесені до його входу;

$T_{\sigma \zeta}(\beta), T_{\sigma \text{ аі}}(\beta)$ – еквівалентні шумові температури Землі та атмосфери, віднесені до входу антени;

β – кут місця;

$T_{\sigma \text{ ґ}}$ – еквівалентна шумова температура, що характеризує радіовипромінювання космічних джерел.

Чисельні значення $T_{\sigma \text{ ід}}$ представлені в табл. В.3, Додаток В, а $T_{\sigma \zeta}(\beta)$ залежить від аналізованого напрямку передачі, де кут місця β визначений в другому розділі курсового проекту.

Якщо напрям передачі **ШСЗ** \rightarrow **ЗС**, то $T_{\sigma \zeta}(\beta)$ визначається тепловим радіовипромінюванням Землі, що приймається бічними пелюстками діаграми спрямованості антени, і обчислюється за формулою

$$T_{\sigma \zeta} = 23 + 0,2(90 - \beta), \text{ К},$$

де β – кут місця в градусах.

Якщо напрям передачі **ЗС** \rightarrow **ШСЗ**, то $T_{\sigma \zeta}(\beta)$ визначається з урахуванням відношення тілесного кута земної поверхні, що спостерігається з борту ШСЗ до тілесного кута головної пелюстки діаграми спрямованості бортової антени ШСЗ, та обчислюється за формулою

$$T_{\sigma \zeta} = 290(\Omega_{\zeta} / \Omega_{\text{а}}), \text{ К},$$

де $\Omega_{\zeta}, \Omega_{\text{а}}$ – відповідно тілесний кут земної поверхні, що спостерігається з борту ШСЗ та тілесний кут головної пелюстки діаграми спрямованості бортової антени ШСЗ.

Згідно з заданою умовою ШСЗ знаходиться на геостаціонарній орбіті і його бортова антена формує глобальний промінь з шириною головної пелюстки діаграми спрямованості, приблизно рівної тілесному куту, під яким з ШСЗ спостерігається земна поверхня, тобто $\approx 17,5$ град. Тому можна прийняти $T_{\sigma \zeta} = 290 \text{ К}$.

Еквівалентна шумова температура атмосфери $T_{\sigma \text{ аі}}(\beta)$ для заданих значень кута місця β і частоти f визначається за графіком, що зображений на рис. Г.1, Додаток Г. Причому для напрямку передачі **ЗС** \rightarrow **ШСЗ** значення $T_{\sigma \text{ аі}}(\beta)$ відповідає значенню $T_{\sigma \text{ аі}}(\beta = 90 \text{ аіаа})$, що визначається за тим самим графіком.

Еквівалентна шумова температура $T_{\sigma \text{ ґ}}$, що характеризує радіовипромінювання космічних джерел, залежить від місцезрештування та тілесних кутів позаземних джерел випромінювання, що спостерігаються з поверхні Землі, діапазону частот, який використовується.

В рамках аналізу, що проводиться, введено припущення, що приймальна антена не направлена на Сонце, Місяць, планети та інші найбільш яскраві космічні джерела. Тоді $T_{\theta} \hat{E} = T_{\theta}^* \hat{E}$, де $T_{\theta}^* \hat{E}$ визначається за графіком відповідно до рис. Г.1, Додаток Г.

3) Множник послаблення радіосигналу у вільному просторі розраховується за формулою

$$V_0^2 = (\lambda / 4\pi d)^2,$$

де d – похила дальність;

$\lambda = \tilde{n} / f$ – довжина хвилі електромагнітного коливання;

\tilde{n} – швидкість світла у вільному просторі;

f – частота високочастотного коливання.

Чисельне значення довжини хвилі електромагнітного коливання λ визначено в третьому розділі курсового проекту.

Для визначення похилої дальності можна скористатися наступною формулою

$$d = 42,156 \sqrt{1,023 - 0,303 \cos \varphi_R \cos(\lambda_R - \lambda_P)}, \text{ тис. км,}$$

де λ_P – географічна довгота підсупутникової точки в радіанах;

λ_R, φ_R – географічні довгота та широта місця розташування ЗС в радіанах.

Чисельне значення λ_P наведено в табл. В.1, Додаток В, а λ_R, φ_R визначені в другому розділі курсового проекту.

4) Чисельні значення смуги пропускання приймача Δf наведені в табл. В.3, Додаток В; $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Вт}(\text{К} \cdot \text{Гц})^{-1}$ – постійна Больцмана.

Для оцінки працездатності супутникового каналу зв'язку необхідно порівняти отримане значення сигнал/шум на вході приймального пристрою відповідної апаратури системи супутникового зв'язку з мінімально допустимим.

Мінімально допустиме значення відношення сигнал/шум на вході приймального пристрою відповідної апаратури системи супутникового зв'язку задано в табл. В.3, Додаток В.

2.5 Урахування впливу реальних умов при розповсюдженні радіохвиль у супутникових каналах зв'язку

Вплив реальних умов на енергетичний потенціал супутникового каналу зв'язку виявляється у збільшенні втрат енергії радіохвиль порівняно з втратами у вільному просторі, що характеризується додатковим послабленням потужності радіосигналу $V_{\text{аі а}}^2$ і збільшенням еквівалентної шумової температури приймального пристрою в цілому порівняно з ідеальними умовами (ідеальна антена та хвилевідний тракт у вільному просторі).

Додаткове послаблення радіосигналу залежить від діапазону частот, що

використовується, і збільшується зі зменшенням кута місця β , оскільки при малих β радіохвилі проходять через велику товщу атмосфери. Додаткове послаблення визначається послабленням у спокійній атмосфері (за відсутності опадів), послабленням в опадах (дощах), рефракцією радіохвиль і поляризаційними втратами.

Послаблення радіохвиль у спокійній атмосфері визначається в основному їх поглинанням в кисні й водяній парі тропосфери. Додаткове згасання, яке обумовлене послабленням радіохвиль у спокійній атмосфері V_{a0i}^2 , можна вважати постійним за часом та визначити за графіком, що зображено на рис. Г.2, Додаток Г.

Послаблення в опадах на супутникових каналах зв'язку визначається в основному поглинанням енергії радіохвиль у дощі. Чисельне значення даного послаблення носить статистичний характер і залежить від кліматичних умов. Цей вид втрат є основною складовою додаткового послаблення. Послаблення у дощі V_{a}^2 можна розрахувати, якщо відомі: статистика випадання опадів різної інтенсивності в заданому районі та еквівалентна довжина шляху радіохвиль у дощі тієї або іншої інтенсивності при різних кутах місця. Для території України та інших районів з помірним кліматом зручно користуватися відповідними графіками, наприклад, такими як зображені на рис. Г.3, Додаток Г.

Рефракція радіохвиль приводить до утворення кута між дійсними напрямом на ШСЗ та тим, що здається. В результаті з'являється додаткове послаблення радіохвиль $V_{\text{dãd}}^2$, що викликане невірним наведенням антен ЗС та ШСЗ одна на одну. Кутове відхилення, що викликане рефракцією, складає декілька десятих часток градуса та може компенсуватися або бути зведене до мінімуму попередньою корекцією направленості антен. При автоматичному наведенні антен за максимумом сигналу вплив рефракції практично виключається.

Поляризаційні втрати $V_{\text{iië}}^2$ складаються з втрат, що викликані неузгодженістю поляризації, втрат, пов'язаних з ефектом Фарадея, і втрат через деполаризацію радіохвиль в опадах.

Втрати, що викликані неузгодженістю поляризації, виникають в результаті зміни взаємної орієнтації антен ЗС та ШСЗ при використанні лінійних ортогональних поляризацій. При використанні кругових ортогональних поляризацій ця складова поляризаційних втрат дуже мала.

Ефект Фарадея полягає в повертанні площини поляризації радіохвиль під дією магнітного поля Землі та чинить найбільший вплив на радіохвилі лінійної поляризації. Втрати, обумовлені цим явищем, залежать від частоти і дуже малі на частотах від 10 ГГц та вище.

Втрати через деполаризацію радіохвиль в опадах обумовлені несферичністю форми й особливістю траєкторії падіння крапель дощу, що приводить до різного впливу опадів на лінійні складові радіохвиль з коловою поляризацією. Ефект деполаризації радіохвиль з лінійною поляризацією викликає набагато менші втрати, ніж у випадку з коловою. Цей вид поляризаційних втрат носить статистичний характер, пов'язаний із статистикою випадання дощів, у зв'язку з чим, такий самий характер носитимуть і результуючі поляризаційні втрати $V_{\text{iië}}^2$.

Таким чином, у найбільш загальному випадку додаткове послаблення, що враховує вплив реальних умов при розповсюдженні радіохвиль у супутникових каналах зв'язку, можна розрахувати за формулою

$$V_{\text{аі а}}^2 = V_{\text{аòì}}^2 V_{\text{а}}^2 V_{\text{òáò}}^2 V_{\text{ііє}}^2, \quad (2.16)$$

де $V_{\text{аòì}}^2$ – множник послаблення у спокійній атмосфері;

$V_{\text{а}}^2$ – множник послаблення в опадах;

$V_{\text{òáò}}^2$ – множник послаблення через рефракцію;

$V_{\text{ііє}}^2$ – множник послаблення через поляризаційні втрати.

Часто додаткове послаблення потужності радіосигналу, а також складові даного послаблення задають (визначають) у логарифмічному масштабі, тобто в дБ. Тоді вираз (2.16) можна переписати у наступному вигляді

$$v_{\text{аі а}} = v_{\text{аòì}} + v_{\text{а}} + v_{\text{òáò}} + v_{\text{ііє}}, \quad \text{дБ}, \quad (2.17)$$

де $v_{\text{аіі}} = 10 \cdot \lg(V_{\text{аіі}}^2)$; $v_{\text{аòì}}$, $v_{\text{а}}$, $v_{\text{òáò}}$, $v_{\text{ііє}}$ – відповідно множники послаблення у спокійній атмосфері, в опадах, через рефракцію, через поляризаційні втрати, що задані в дБ.

При визначенні додаткового послаблення потужності радіосигналу множниками послаблення через рефракцію та через поляризаційні втрати в даному курсовому проекті можна знехтувати.

При визначенні множників послаблення у спокійній атмосфері та в опадах згідно з відповідними графіками в дБ уточнити значення відношення сигнал/шум можна на підставі формули

$$(C/Ш)^*, \text{ дБ} = (C/Ш), \text{ дБ} + v_{\text{аіі}},$$

де $(C/Ш)^*$, дБ – уточнене значення відношення сигнал/шум на вході приймального пристрою в дБ;

$(C/Ш)$, дБ – відношення сигнал/шум на вході приймального пристрою при урахуванні тільки множника послаблення у вільному просторі в дБ (див. результат розрахунків у четвертому розділі курсового проекту);

$v_{\text{аі а}}$ – додаткове послаблення потужності радіосигналу з урахуванням дії сукупних чинників (пари води H_2O та кисню O_2 , дощу).

Для визначення енергетичних характеристик супутникового каналу зв'язку необхідно спочатку визначити множник послаблення у спокійній атмосфері, уточнити значення відношення сигнал/шум та оцінити працездатність, а потім визначити множник послаблення в дощі для 1% та 0,1% часу будь-якого місяця та уточнити значення відношення сигнал/шум з урахуванням дії сукупних чинників (пари води, кисню, дощу) й оцінити працездатність супутникового каналу зв'язку.

Для оцінки працездатності супутникового каналу зв'язку необхідно порівняти чисельні значення уточненого відношення сигнал/шум і мінімально допустимого відношення сигнал/шум на вході приймального пристрою $(C/Ш)_{\min}$ (див. табл. В.3, Додаток В).

3 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Системы радиосвязи: [учеб. для вузов] / Н. И. Калашников, Э. И. Крупицкий, И. Л. Дороднов, В. И. Носков; под ред. Н. И. Калашникова. – М.: Радио и связь, 1988. – 352 с.
2. Радиорелейные и спутниковые системы передачи: учеб. для вузов / [А. С. Немировский, О. С. Данилович, Ю. И. Маримонт и др.]; под ред. А. С. Немировского. – М.: Радио и связь, 1986. – 392 с.
3. Справочник по радиорелейной связи / [Каменский Н. Н., Модель А. М., Надененко Б. С. и др.]; под ред. С. В. Бородича. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Радио и связь, 1981 – 416 с.
4. Нарытник Т. Н. Радиорелейные и тропосферные системы передачи: учеб. пособ. / Нарытник Т. Н. – К.: Концерн «Видавничий Дім» Уж Юре; 2003. – 336 с.
5. Лукьянчук А. Г. Спутниковые системы связи, вещания и навигации: учеб. пособ. / А. Г. Лукьянчук, Ю. П. Михайлюк, А. А. Савочкин; под ред. А. Г. Лукьянчука. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2002. – 335 с.
6. Цифровые и аналоговые системы передачи: учеб. для вузов / [В.И. Иванов, В.Н. Гордиенко, Г.Н. Попов и др.]; под ред. В.И. Иванова. – [2-е изд.]. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 232 с.

ДОДАТОК А
Зразок оформлення титульного листа

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ЗВ'ЯЗКУ ім. О.С. ПОПОВА
Кафедра технічної електродинаміки та систем радіозв'язку

КУРСОВИЙ ПРОЕКТ

на тему:

«Розрахунок та аналіз супутникового каналу зв'язку»

з дисципліни

«Системи супутникового зв'язку»

Студента (ки) V курсу, групи P 5.1.03
спеціальності 7.05090103 - Радіоелектронні пристрої,
системи та комплекси

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник доц., к.т.н., Рожновська І.Ю.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна шкала _____
Кількість балів: _____ Оцінка: ECTS _____

Члени комісії: _____ (прізвище та ініціали)
_____ (підпис) _____ (прізвище та ініціали)
_____ (підпис) _____ (прізвище та ініціали)
_____ (підпис) _____ (прізвище та ініціали)

м. Одеса – 2013 рік

Додаток Б
Зразок листа технічного завдання

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
ЗВ'ЯЗКУ ім. О.С. ПОПОВА

Кафедра Технічної електродинаміки та систем радіозв'язку
Дисципліна Системи супутникового зв'язку
Спеціальність 7.05090103 - Радіоелектронні пристрої, системи та комплекси
Курс V **Група** P 5.103

ЗАВДАННЯ

на курсовий проект (роботу) студенту

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема проекту (роботи)** Розрахунок та аналіз супутникового каналу зв'язку
2. **Термін здачі студентом проекту (роботи)** 03.12.2013
3. **Вихідні дані до проекту (роботи):** положення ШСЗ на геостаціонарній орбіті λ_p (град.); частота високочастотного коливання f (ГГц); ширина головної пелюстки ДС антени за рівнем половинної потужності $2\Delta\theta_{0,5}$ (град.); КВП антени η ; напрям передавання; місце розташування приймального пристрою; потужність передавача ЗС або ШСЗ $P_{\text{ПРД}}$; КП антени ЗС або ШСЗ; еквівалентна шумова температура, що характеризує власні шуми приймача, віднесені до його входу $T_{\text{ш пр}} (K)$; смуга пропускання приймача Δf (МГц); мінімальне допустиме відношення сигнал/шум на вході приймача $(C/Ш)_{\text{min}}$ (дБ) вибираються згідно з _____ варіантом відповідно до двох останніх цифр у номері залікової книжки: m – передостання цифра; n – остання.
4. **Зміст пояснювальної записки:** вступ; основні принципи організації ССЗ та особливості їх проектування; аналіз можливості приймання/передавання радіосигналів на заданий ШСЗ; аналіз геометричних та електродинамічних параметрів параболічної антени, що застосовується у ССЗ; розрахунок відношення сигнал/шум на вході приймального пристрою у вільному просторі та з урахуванням реальних умов розповсюдження; оцінка працездатності супутникового каналу зв'язку; висновки; перелік літератури; додатки
5. **Перелік графічного матеріалу:** структурна схема супутникової системи радіозв'язку
6. **Дата видачі завдання** 10.09.2013

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Найменування етапів курсового проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Аналіз літературних джерел за темою: «Основні принципи організації ССЗ та особливості їх проектування»</i>	<i>10.09.2013</i>	
2	<i>Аналіз можливості приймання/ передавання радіосигналів на заданий ШСЗ</i>	<i>24.09.2013</i>	
3	<i>Аналіз геометричних та електродинамічних параметрів параболічної антени, що застосовується у ССЗ</i>	<i>08.10.2013</i>	
4	<i>Аналіз енергетичних характеристик супутникових систем радіозв'язку</i>	<i>22.10.2013</i>	
5	<i>Аналіз впливу реальних умов при розповсюдженні радіохвиль у ССЗ</i>	<i>05.11.2013</i>	
6	<i>Оформлення графічних матеріалів та пояснювальної записки</i>	<i>19.11.2013</i>	
7	<i>Захист курсового проекту (роботи)</i>	<i>03.12.2013</i>	

Студент _____ (підпис) _____ (прізвище та ініціали)

Керівник _____ (підпис) доц., к.т.н., Рожновська І.Ю. (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

« _____ » _____ 20 ____ р.

ДОДАТОК В

ВАРІАНТИ ЗАВДАННЯ НА 2013/2014 НАВЧАЛЬНИЙ РІК

Вихідні дані розрахункових завдань курсового проекту вибираються кожним студентом відповідно до передостанньої (m) та останньої (n) цифр номера залікової книжки.

Для всіх варіантів задаються наступні вихідні дані:

– положення ШСЗ на геостаціонарній орбіті λ_p ;

Таблиця В.1 – Вихідні дані

№ варіанта (n)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Положення ШСЗ на геостаціонарній орбіті* (довгота підсупутникової точки, λ_p)	12,50 з.д.	8,00 з.д.	7,00 з.д.	10,00 в.д.	13,00 в.д.	16,00 в.д.	21,50 в.д.	25,50 в.д.	28,50 в.д.	36,00 в.д.

* дані взяті зі схеми розміщення ШСЗ «Eutelsat»

– частота високочастотного коливання f ;

– ширина головної пелюстки ДС антени за рівнем половинної потужності $2\Delta\theta_{0,5}$;

– КВП антени η ;

Таблиця В.2 – Вихідні дані

№ варіанта (n)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
f , ГГц	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5
№ варіанта (m)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$2\Delta\theta_{0,5}$, град.	1,5	2,0	2,5	1,5	2,0	2,5	1,5	2,0	2,5	1,5
η	0,5	0,6	0,7	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,8	0,7

- напрям передачі;
- місце розташування приймального пристрою (ПРМ);
- потужність передавача ЗС або ШСЗ $P_{\text{іоä}}$;
- КП антени ЗС або ШСЗ;
- еквівалентна шумова температура, що характеризує власні шуми приймача, віднесені до його входу $T_{\text{ø іö}}$;
- смуга пропускання приймача Δf ;
- мінімально допустиме відношення сигнал/шум на вході приймача $(\text{С/Ш})_{\text{min}}$.

Таблиця В.3 – Вихідні дані

№ варіанта (m**)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Напрям передачі	ЗС → ШСЗ					ШСЗ → ЗС				
ПРМ розташовано на	ШСЗ					ЗС				
Потужність ПРД:										
– ЗС $P_{\text{іоä}}$, кВт	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	—	—	—	—	—
– ШСЗ $P_{\text{іоä}}$, Вт	—	—	—	—	—	100	60	70	80	90
КП антени										
ЗС, дБі	Див. результати розрахунків у третьому розділі курсового проекту									
ШСЗ, дБі	20	22	21	24	23	21	22	23	24	20
$T_{\text{ø іö}}$, К	400	300	350	450	500	40	80	60	50	70
Δf , МГц	36	34	40	34	40	36	40	34	40	34
$(\text{С/Ш})_{\text{min}}$, дБ	10,0	11,0	8,0	15,0	11,0	3,0	4,0	5,0	4,0	5,0

ДОВІДКОВІ ДАНІ

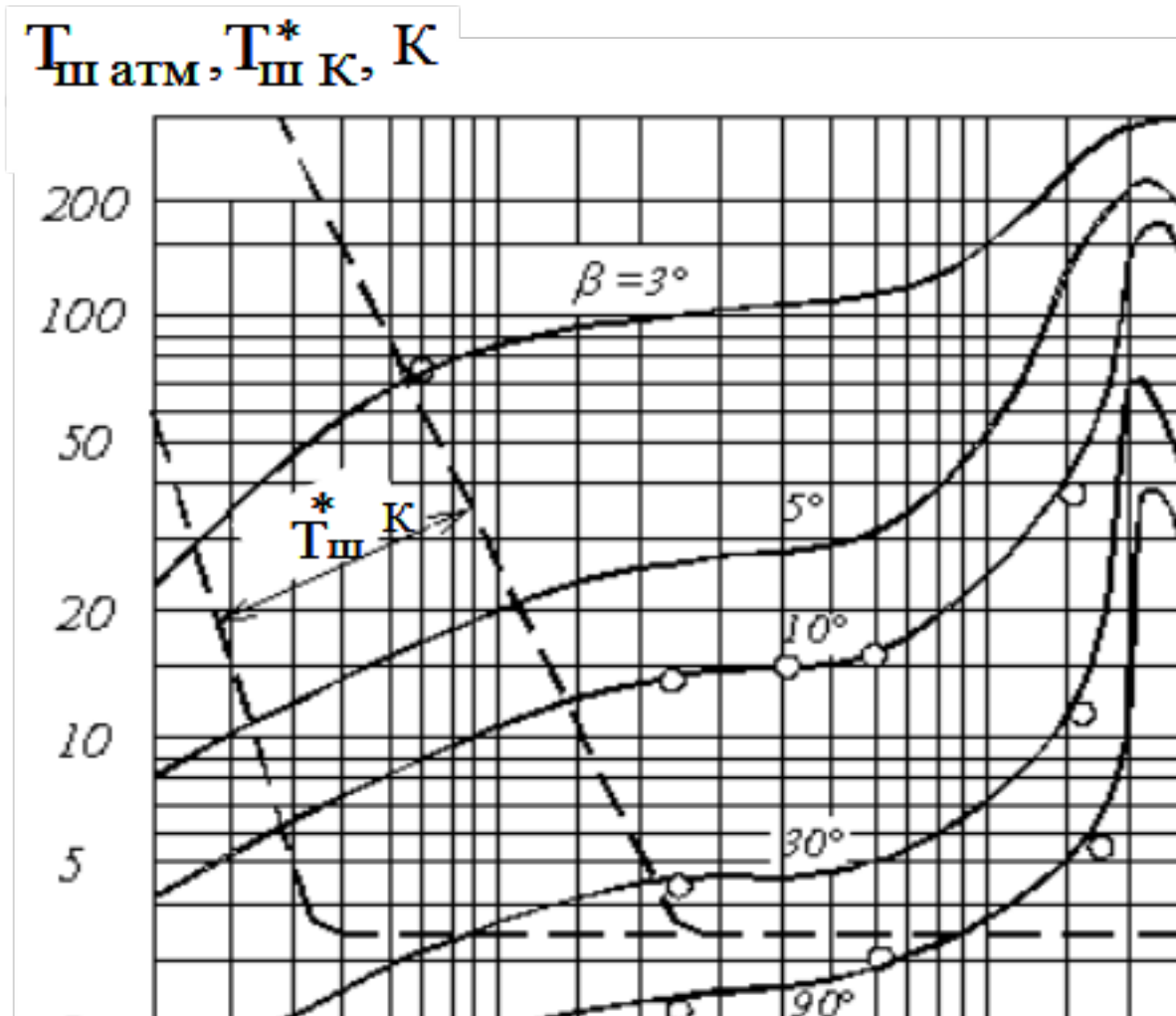


Рисунок Г.1 – Залежність еквівалентної шумової температури атмосфери і космічних джерел від частоти та кута місця

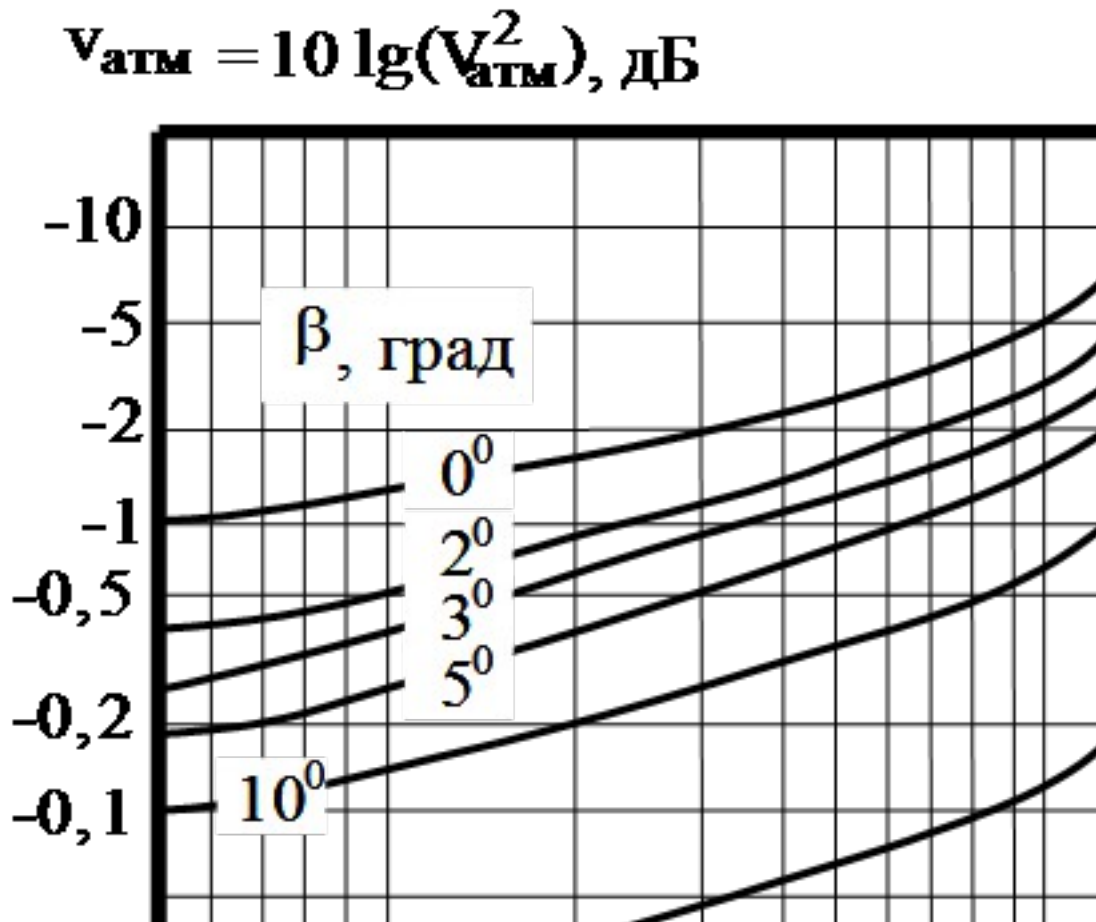


Рисунок Г.2 – Множник послаблення радіохвиль у спокійній атмосфері
(пари води H₂O та кисень O₂)

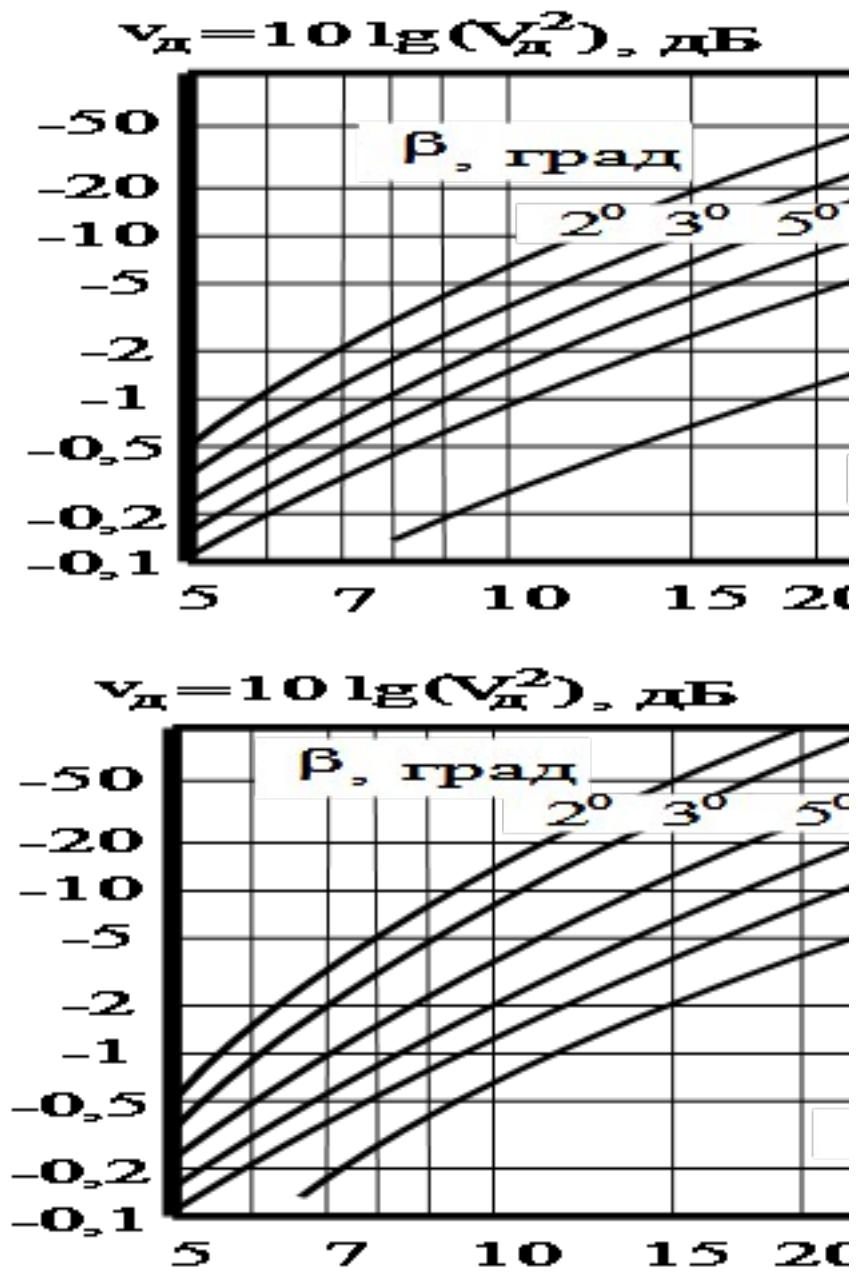


Рисунок Г.3 – Множник послаблення радіохвиль у дощі