

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
Національний авіаційний університет

**АЕРОКОСМІЧНІ ЗНІМАННЯ
ТА ДИСТАНЦІЙНЕ
ЗОНДУВАННЯ**

Методичні рекомендації
до виконання
розрахунково-графічних робіт
для студентів спеціальностей 6.070900
«Геоінформаційні системи і технології» та 6.070900
«Землевпорядкування та кадастр»

Київ 2008

УДК 528. 8(076.5)
ББК 0660p + Д.с5+Е.с5
А 992

Укладач *Ф. Й. Яновський*

Рецензент *О. Г. Денисов*

*Затверджено методично - редакційною радою
Національного авіаційного університету (протокол №10 від
14.02.2008 року*

А992 Аерокосмічні знімання та дистанційне зондування:
методичні рекомендації до виконання розрахунково-графічних
робіт / уклад. Ф. Й. Яновський. - К.: НАУ, 2008. – 36 с.

Містять варіанти завдань на розрахунково-графічні роботи,
рекомендації щодо їх виконання та оформлення.

Для студентів спеціальностей 6.070900 «Геоінформаційні
системи і технології» та «Землевпорядкування та кадастр»

ВСТУП

З метою закріплення та поглиблення теоретичних знань та вмінь, набутих студентами у процесі засвоєння навчального матеріалу дисципліни «Аерокосмічні знімання та дистанційне зондування», згідно з навчальним планом відповідних спеціальностей та програми дисципліни виконуються дві розрахунково-графічні роботи (РГР). Виконання кожної РГР є важливим етапом у підготовці майбутнього фахівця з геоінформаційних систем і технології та землевпорядкування.

Методичні рекомендації мають таку структуру. Після вступу сформульована мета РГР, подані загальні методичні рекомендації щодо виконання і оформлення розрахунково-графічних робіт. Далі наведені теоретичні відомості, зміст завдань і спеціальні методичні рекомендації щодо їх виконання окремо по першій і другій розрахунково-графічних роботах. Варіанти завдань та інша необхідна інформація містяться у додатках.

МЕТА РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНИХ РОБІТ І ВИЗНАЧЕННЯ ВАРІАНТІВ ЗАВДАНЬ

Розрахунково-графічні роботи 1 і 2 з дисципліни «Аерокосмічні знімання та дистанційне зондування» виконуються відповідно у сьомому і восьмому семестрах з метою закріплення та поглиблення теоретичних знань та вмінь студента в галузі фізичних основ дистанційного зондування (РГР 1) і мікрохвильового дистанційного зондування земної поверхні (РГР 2). РГР 1 є складовою модуля 1 «Фізичні основи дистанційного зондування земної поверхні», а РГР 2 – складовою модуля 2 «Датчики аерокосмічного знімання та дистанційного зондування».

Виконують, оформлюють та захищають РГР студенти в індивідуальному порядку за варіантами відповідно до затвердженого плану самостійної роботи, передбаченого програмою дисципліни. Номер варіанта визначають за сумою двох останніх цифр залікової книжки студента.

Час, потрібний для виконання однієї РГР, становить 10 год самостійної роботи.

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ОФОРМЛЕННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНИХ РОБІТ

Порядок виконання розрахунково-графічної роботи

Розрахунково-графічна робота повинна бути написана у вигляді єдиного текстового документу, поділеного на розділи (вступ, основна частина, висновки). Основна частина може поділятися на підрозділи з відповідними заголовками. На всі рисунки, таблиці тощо в тексті мають бути змістовні посилання.

Виконання РГР роботи рекомендується проводити в такому порядку:

1. Вивчити теоретичні й експериментальні відомості за темою РГР, підібрати необхідну літературу згідно з одержаним завданням. Доцільно використати в першу чергу матеріали конспекту лекцій та джерела, які вказані в списку літератури та рекомендовані викладачем, а також вибрати допоміжну літературу, що може бути використана в ході роботи. Варто провести пошук інформації відповідної тематики в Internet.

Увага! Усі використані джерела, включаючи web сайти, вносяться в список літератури, який студент повинен навести в кінці роботи, і на них мають бути посилання у відповідних місцях тексту роботи.

2. Скласти вступ, в якому потрібно навести мету роботи та сформулювати задачу, що розв'язується в РГР. Обсяг вступу не повинен перевищувати однієї сторінки.

3. Виконати розрахунки та обґрунтування відповідно до завдання.

4. Виконати графічну частину роботи, побудувавши графіки необхідних залежностей відповідно до розрахунків за математичними моделями і отриманими даними.

При розрахунках і побудові графіків доцільно користуватися сучасними прикладними програмними середовищами, наприклад, Mathcad або Matlab. Побудова графіків вручну не рекомендується.

5. Навести аналіз отриманих результатів і сформулювати змістовні висновки з виконаних розрахунків, одержаних даних і графіків.

Оформлення розрахунково-графічної роботи

Текст РГР має бути набраний у редакторі Word, надрукований на білому папері формату А4 та зброшурований за допомогою швидкозшивача.

Рекомендуються такі параметри друку:

- шрифт протягом всієї роботи Times New Roman;
- основний текст друкувати розміром 14 через півтора інтервали, вирівнювати по ширині сторінки;
- заголовки (якщо вони займають більше одного рядка) – через один інтервал, вирівнювати по центру без переносів;
- назви розділів – великими літерами і жирним шрифтом;
- назви підрозділів тим самим шрифтом, що основний текст, але виділяти жирним;
- абзац 1 см;
- всі формули і змінні в тексті набирати за допомогою редактора формул Equation;
- всі буквені позначення у формулах, навіть такі, що здаються цілком очевидними, мають бути розшифровані в тексті безпосередньо після першого вживання;
- те ж саме стосується абревіатур;
- рисунки мають розміщуватися після посилання на них в тексті, причому під кожним рисунком має бути змістовний центрований підпис, наприклад:

Рис. 1. Структурна схема радіолокатора бокового огляду землі.

Якщо рисунок містить абревіатури, їх необхідно розшифрувати в тексті або у підписі до рисунку.

Матеріал роботи повинен мати таку структуру:

- титульний аркуш;
- завдання на РГР;
- вступ;
- основний текст з розрахунками, рисунками, таблицями тощо (може бути кілька розділів);
- висновки;
- список літератури.

Зразок титульного аркуша наведено в дод. 1.

Рисунки та таблиці також нумеруються в межах всієї РГР. Підписи до рисунків роблять під рисунками, а до таблиць – над таблицями.

Розділи РГР повинні починатися з нової сторінки і мати порядковий номер, написаний арабськими цифрами з крапкою. Великі розділи слід розбивати на підрозділи з номерами та заголовками. Номери підрозділів складаються з номера розділу та номерів підрозділів. Назви розділів та підрозділів повинні бути короткими і відповідати їх змісту. Переноси слів у заголовках не допускаються, в кінці заголовка крапку не ставлять, наприклад:

2. ВИБІР ДОВЖИНИ ХВИЛІ

2.1. Вплив особливостей поширення в атмосфері

(текст підрозділу 2.1)

2.2. Урахування вимог до розміру антени

(текст підрозділу 2.2) і т.д.

Матеріал РГР необхідно викладати чітко, коротко, аргументуючи факти, дії, прийняті рішення та зроблені висновки. Термінологія, визначення, позначення, одиниці вимірювання використаних величин повинні бути єдиними. Всі фізичні величини слід наводити в одиницях СІ згідно з ДЕСТ 8.417-81. Скорочення слів (крім введених абревіатур) у тексті та підписах рисунків не допускаються.

Ще раз підкреслимо, що в розрахунково-пояснювальній записці повинні бути посилання на літературу, на основі якої виконується той чи інший розрахунок. Якщо в розрахунку використовуються номограми, таблиці, графіки чи інші довідкові матеріали з літератури, то, крім посилань на літературу, наводяться вказані графіки, таблиці, номограми. Посилання на використану літературу в тексті записують в квадратних дужках вказуючи порядковий номер, який відповідає списку літератури, що наводиться в РГР.

Наприклад: "За графіком, взятим з підручника [5] та наведеним на рис.10, знаходимо ...", "Розрахунок функції $y(x)$, виконаний згідно з формулою (15), взятою з праці [4], показано на графіку рис. 3 ...".

Основні розрахункові формули необхідно наводити в окремому рядку і нумерувати арабськими цифрами у порядку появи. Номер

ставлять в круглих дужках біля правого поля у рядку формули. У формулах слід застосовувати позначення, встановлені стандартами (якщо вони існують), або такі, що відповідають традиційній практиці. Значення символів та коефіцієнтів записують після формули. Значення кожного символу записують у тій самій послідовності, в якій вони наведені в формулі. При цьому після формули ставлять кому, а перший рядок розшифровки починають з слова "де", яке пишеться без абзацу. Наприклад:

Роздільна здатність імпульсної ЛС з візуальним індикатором визначається за формулою

$$\Delta R = \frac{c\tau_i}{2} + \Delta R_{\text{інд}}, \quad (2)$$

де c – швидкість поширення електромагнітних хвиль;

τ_i – тривалість імпульсу;

$\Delta R_{\text{інд}}$ – роздільна здатність індикаторного пристрою.

Якщо в розшифровці даються числові значення величин символів, що входять до формули, то результат обчислення можна записати без підстановки числових значень величини. Якщо за однією формулою виконується обчислення декількох значень функції для різних значень аргументу, то рекомендується показати обчислення для одного значення аргументу, а всі результати обчислень записати в таблицю. Слід указати розмірність результатів обчислення.

Розрахунково-графічна робота 1

ВИПРОМІНЮВАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ

Мета роботи – поглиблення знань про випромінювальні властивості земної поверхні за різних умов у видимому та інфрачервоному діапазонах і розрахунку залежностей спектрального потоку енергії від довжини хвилі при заданій температурі.

Теоретичні відомості

Теплове випромінювання. У нагрітих тілах частина внутрішньої енергії речовини перетворюється в енергію випромінювання. Тому всі тіла, температура яких відмінна від абсолютного нуля, є джерелами електромагнітного випромінювання в усіх частотних діапазонах. Експерименти підтверджують, що таке випромінювання має безперервний спектр. Але спектральний максимум випромінювання може знаходитися у відносно вузькому діапазоні частот. Розподіл енергії випромінювання тіла по частотах спектра залежить від температури тіла. Для всіх тіл при підвищенні температури максимум енергії випромінювання зміщується в короткохвильову зону спектра, а загальна енергія випромінювання зростає. Наприклад, якщо випромінювання батареї центрального опалення ($T \approx 350$ К) має пік енергії в діапазоні невидимого інфрачервоного випромінювання, то поверхня Сонця ($T \approx 6000$ К) випромінює значну частину енергії в діапазоні видимого світла, а при ядерному вибухові ($T \approx 10^6$ К) більша частка енергії вибуху переноситься ще більш короткохвильовими рентгенівським і гамма-випромінюваннями.

Якщо кілька нагрітих випромінюючих тіл оточити ідеально непроникною для випромінювання оболонкою, що відбиває енергію, то через певний проміжок часу в такій системі встановиться термодинамічна рівновага, тобто температури всіх тіл вирівняються і розподіл енергії між тілами й випромінюванням не буде змінюватися у часі. Такий рівноважний стан системи є стійким, тобто після будь-якого його порушення, стан рівноваги знову відновлюється. Термодинамічна рівновага встановиться й у порожнині, стінки якої виконані з будь-якого реального матеріалу і підтримуються при деякій незмінній температурі.

Таким чином, будь-яке нагріте тіло випромінює енергію у вигляді електромагнітних хвиль. Електромагнітне випромінювання тіл, обумовлене їхнім нагріванням, називається тепловим випромінюванням. Теплове або температурне випромінювання відрізняється від інших видів випромінювання (наприклад, люмінесценції) тільки способом переходу випромінюючих систем у збуджений стан. У явищах теплового випромінювання такий перехід здійснюється в результаті теплового руху атомів і молекул. На відміну від інших видів випромінювання теплове випромінювання є рівноважним, тобто воно завжди прагне до стану термодинамічної рівноваги, коли кількість випроміненої променистої енергії в середньому дорівнює кількості поглиненої енергії.

Характеристики теплового випромінювання. Для опису спектрального складу теплового випромінювання розглянемо енергію, випромінювану одиницею поверхні нагрітого тіла в одиницю часу у вузькому діапазоні частот від ω до $\omega + d\omega$. Цей потік променистої енергії dR , що випромінюється з одиниці поверхні в усіх напрямках, є пропорційним ширині спектрального діапазону $dR = r d\omega$. У фізиці енергію r , що припадає на одиницю частоти, називають *спектральною випромінювальною здатністю* тіла або *спектральною щільністю енергетичної світності*. Досвід показує, що для кожного тіла випромінювальна здатність є певною функцією частоти. Ця функція може змінюватися при зміні температури тіла T . У подальшому для функціональної залежності $r = r(\omega, T)$ будемо користуватися позначенням $r = r(\omega, T) \equiv r_{\omega, T}$.

Сумарний потік енергії випромінювання з одиниці поверхні тіла по всьому діапазону частот

$$R_T = \int_0^{\infty} r_{\omega, T} d\omega \quad (1.1)$$

називається *інтегральною випромінювальною здатністю* тіла або його *енергетичною світністю*. В системі СІ енергетична світність вимірюється у ватах та квадратний метр, а спектральна випромінювальна здатність має розмірність джоуль на квадратний метр.

Випромінювальна здатність тіла може бути представлена і як функція довжини хвилі випромінювання λ , яка пов'язана з частотою через швидкість c світла у вакуумі формулою $\lambda = 2\pi c/\omega$. Це впливає з рівності потоків випромінювання, що припадають на інтервал частот $d\omega$ і на відповідний йому інтервал довжин хвиль $d\lambda$:

$$r_{\omega,T}d\omega = r_{\lambda,T}d\lambda. \quad (1.2)$$

З формули (1.2) випливає зв'язок між випромінювальними здатностями за шкалами частот і довжин хвиль у вигляді явної функції:

$$r_{\lambda,T} = r_{\omega,T} \frac{d\omega}{d\lambda} = r_{\omega,T} \frac{2\pi c}{\lambda^2}. \quad (1.3)$$

При дистанційному зондуванні в оптичному діапазоні частіше користуються спектральною випромінювальною здатністю як функцією довжини хвилі, тобто її визначають як енергію, випромінювану одиницею поверхні за одиницю часу, в інтервалі довжин хвиль від λ до $\lambda + d\lambda$. Тоді енергетична світність (інтегральна випромінювальна здатність)

$$R_T = \int_0^{\infty} r_{\lambda,T} d\lambda, \quad (1.4)$$

що повністю відповідає формулі (1.1).

Якщо на тіло або поверхню падає потік випромінювання, то частина його відбивається, а частина поглинається. Поглинальна здатність тіла $A_{\lambda,T}$ є безрозмірною величиною. Вона показує, яку частину випромінювання, що падає на одиницю поверхні в одиницю часу в інтервалі довжин хвиль від λ до $\lambda + d\lambda$ (або в скінченних проміжках λ до $\lambda + \Delta\lambda$), тіло поглинає.

Абсолютно чорне тіло. Тіло, яке повністю поглинає всю енергію незалежно від частоти, називається абсолютно чорним тілом (АЧТ). Теплове випромінювання будь-якого тіла зручно виражати в термінах теорії АЧТ. Термін АЧТ уперше був уведений як термодинамічне поняття Г. Кирхгофом у 1862 році. Речовина, яка має

властивості АЧТ, має поглинати всю електромагнітну енергію, що падає на неї (в усіх частотних діапазонах), і нічого не відбивати.

Абсолютно чорне тіло є фізичною абстракцією. У природі не існує ідеальних АЧТ. Найбільш чорні реальні речовини, наприклад, сажа, поглинають до 99% падаючого випромінювання (тобто мають альbedo, що дорівнює 0,01), але тільки у видимому діапазоні довжин хвиль. Інфрачервоне випромінювання поглинається ними значно гірше. Практичною моделлю чорного тіла може бути порожнина з невеликим отвором і зачорненими стінками, оскільки світло, що потрапляє крізь отвір у порожнину, зазнає багаторазових відбиттів від внутрішніх стінок і сильно поглинається. Глибокий чорний колір деяких матеріалів (деревного вугілля, чорного оксамиту) і зіниці людського ока пояснюється тим самим механізмом. Серед тіл Сонячної системи властивості АЧТ найбільшою мірою має Сонце.

Для АЧТ поглинальна здатність дорівнює одиниці $A_{\lambda,T}=1$. Тіло, у якого $A_{\lambda,T} < 1$, називають сірим тілом.

Незважаючи на свою назву, АЧТ здатне випускати електромагнітне випромінювання будь-якої частоти. Якщо так, то воно може також візуально характеризуватися кольором. Спектр випромінювання АЧТ визначається тільки його температурою.

Закон Кирхгофа. Між випромінювальними та поглинальними властивостями будь-якого тіла має існувати зв'язок. Дійсно, у випадку рівноважного теплового випромінювання рівновага в системі може встановитися тільки в тому випадку, якщо кожне тіло буде випромінювати в одиницю часу стільки ж енергії, скільки воно поглинає. Це означає, що тіла, які інтенсивніше поглинають випромінювання якоїсь частоти, будуть і випускати це випромінювання інтенсивніше. Зв'язок між випромінювальною та поглинальною здатностями тіл виражається законом теплового випромінювання, установленим Г. Кирхгофом у 1859 році. Згідно з цим законом відношення випромінювальної та поглинальної здатностей є однаковим для всіх тіл у природі, включаючи і АЧТ. При заданій температурі це відношення є універсальною функцією частоти (довжини хвилі). Цю функцію можна записати у вигляді таких співвідношень у термінах частоти $F_{\omega,T}$ і довжини хвилі $B_{\lambda,T}$ відповідно:

$$F_{\omega,T} = F(\omega, T) = \left(\frac{r_{\omega,T}}{A_{\omega,T}} \right)_1 = \left(\frac{r_{\omega,T}}{A_{\omega,T}} \right)_2 = \dots = \left(\frac{r_{\omega,T}}{A_{\omega,T}} \right)_n = \frac{r_{\omega,T}^*}{1}; \quad (1.5)$$

$$B_{\lambda,T} = B(\lambda, T) = \left(\frac{r_{\lambda,T}}{A_{\lambda,T}} \right)_1 = \left(\frac{r_{\lambda,T}}{A_{\lambda,T}} \right)_2 = \dots = \left(\frac{r_{\lambda,T}}{A_{\lambda,T}} \right)_n = \frac{r_{\lambda,T}^*}{1}, \quad (1.6)$$

де індексами 1, 2, ... n позначені різні реальні тіла; $A_{\omega,T}$ і $A_{\lambda,T}$ – їхні поглинальні здатності (залежні від температури T і частоти ω або довжини хвилі λ), а зірочками позначені вирази спектральної випромінювальної здатності АЧТ $r_{\omega,T}^*$ і $r_{\lambda,T}^*$, якому відповідає поглинальна здатність $A_{\lambda,T} = A_{\omega,T} = 1$.

Із закону Кирхгофа випливає, що універсальні функції $F_{\omega,T}$ і $B_{\lambda,T}$ за своєю суттю є спектральними випромінювальними здатностями $r_{\omega,T}^*$ і $r_{\lambda,T}^*$ АЧТ за шкалами частот і довжин хвиль відповідно. Тому зв'язок між ними визначається формулою (1.3) $r_{\lambda,T} = r_{\omega,T} 2\pi c / \lambda^2$.

Випромінювання АЧТ має універсальний характер у теорії і практиці теплового випромінювання. Реальні об'єкти завжди випромінюють менше енергії ніж АЧТ при однаковій температурі. Знаючи випромінювальну здатність АЧТ (універсальну функцію Кирхгофа) і поглинальну здатність реального тіла, можна визначити енергію, що випромінюється цим тілом у будь-якому діапазоні частот або довжин хвиль.

Закон Планка. Аналітичний вираз функції спектральної випромінювальної здатності АЧТ вдалося отримати в 1900 році Макс Планку на основі його гіпотези про те, що нагріте тіло випромінює і поглинає енергію дискретними порціями $E = h\nu$ (квантами).

Формула Планка для відношення випромінювальної здатності до поглинальної здатності у зоні довжин хвиль, коли згідно з формулою (1.6) $B_{\lambda,T} = r_{\lambda,T}^*$, має вигляд

$$B_{\lambda,T} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1}, \quad (1.7)$$

де $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – стала Планка; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – швидкість світла у вакуумі; $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – стала Больцмана.

З формули (1.5) випливає, що закон Планка можна також записати у зоні кругової частоти

$$F_{\omega, T} = \frac{h\omega^3}{(2\pi)^3 c^2} \frac{1}{\exp\left(\frac{h\omega}{2\pi kT}\right) - 1} \quad (1.8)$$

або частоти $\nu = \omega/2\pi$.

Випромінювання реальних об'єктів. В дистанційному зондуванні для визначення випромінювальної здатності об'єкта необхідно взяти до уваги, що реальні спостережувані об'єкти не є абсолютно чорними тілами.

Випромінювальна здатність реальних об'єктів може визначатися за формулою:

$$\text{Випромінювальна здатність об'єкта} = \frac{\text{Випромінювальна енергія об'єкта}}{\text{Випромінювальна енергія АЧТ з тією ж температурою, що й об'єкт}}$$

Визначена таким чином випромінювальна здатність реального об'єкта знаходиться між нулем та одиницею. Вона залежить від діелектричної сталості об'єкта, нерівностей його поверхні, температури, довжини хвилі, кута спостереження та інших особливостей самого об'єкта та умов його спостереження.

Температура АЧТ, яке випромінює таку ж енергію, як і спостережуваний об'єкт, називається *радіояскравісною температурою* об'єкта.

На відміну від АЧТ ($A_{\lambda T} = 1$), реальні об'єкти є сірими тілами, у яких поглинальна здатність $A_{\lambda T} < 1$. Інтегральна випромінювальна здатність (енергетична світність) реального тіла є меншою ніж у АЧТ при тій же температурі. Її можна виразити як

$$R_{TGB} = A_T R_{TBB}, \quad (1.9)$$

де $R_{T_{GB}}$ – енергетична світність сірого тіла (Gray Body) при температурі T ; $R_{T_{BB}}$ – енергетична світність АЧТ тіла (Black Body) при температурі T ; A_T – поглинальна здатність при температурі T .

Закон Стефана-Больцмана. Цей закон виводиться шляхом інтегрування спектральної випромінювальної здатності (спектральної щільності енергетичної світності), яка дається законом Планка. Знаючи $B_{\lambda,T}$, можна визначити інтегральну випромінювальну здатність АЧТ відповідно до формули (1.4)

$$R_T = \int_0^{\infty} B_{\lambda,T} d\lambda = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} T^4, \quad (1.10)$$

тобто

$$R_T = \sigma T^4, \quad (1.11)$$

де $\sigma = 2\pi^5 k^4 / 15c^2 h^3 \approx 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$ – стала Стефана-Больцмана.

Формула (1.11) виражає закон Стефана-Больцмана для АЧТ. Для сірого тіла вираз для інтегральної випромінювальної здатності, виходячи з формули (1.7) можна записати як

$$R_T = A_T \sigma T^4, \quad (1.12)$$

де $A_T = A_{\lambda,T}$ при $\lambda = \text{const}$.

Випромінювана потужність. З формули (1.12) випливає, що енергія випромінювання пропорційна четвертій степені температури об'єкта. Це робить її дуже чутливою до температури. Наприклад, АЧТ при $T = 100 \text{ К}$ випромінює 5,67 Вт з кожного квадратного метра своєї поверхні. При температурі 1000 К потужність випромінювання збільшується до 56,7 кВт з квадратного метра.

Якщо тіло, що має температуру T і площу поверхні S , знаходиться в середовищі з температурою T_0 , то потужність, яку випромінює це тіло на тлі середовища, визначається виразом:

$$P = R_T S = A_T \sigma S (T^4 - T_0^4). \quad (1.13)$$

Закон зсуву Віна. Довжина хвилі, при якій енергія випромінювання АЧТ максимальна (тобто яка відповідає піку випромінюваної здатності на кривій, що задається формулою (3.7) закону Планка), визначається законом Віна:

$$\lambda_{\max} = \frac{0,002898}{T}, \quad (1.14)$$

де T – температура, К, а λ_{\max} – довжина хвилі, м, на якій спостерігається максимальна інтенсивність випромінювання.

Переходячи до зручніших одиниць вимірювання довжини хвилі в оптичному діапазоні, можна стверджувати, що за законом Віна добуток довжини хвилі λ_{\max} [мкм] і температури T , дорівнює приблизно 3000 [мкм·К]. Цей закон є корисним для визначення оптимальної довжини хвилі для вимірювання температури об'єктів. Наприклад, $\lambda \approx 10$ мкм є кращою для вимірювань, коли об'єкти мають температуру $T \approx 300$ К. Інший приклад: вважаючи (достатньо приблизно), що шкіра людини близька за своїми властивостями до АЧТ, дістаємо, що максимум спектра випромінювання при температурі 36°C (309 К) відповідає довжині хвилі 9400 нм (інфрачервоної області спектра).

Кольоровість випромінювання. Видимий колір АЧТ залежить від температури. Електромагнітне випромінювання тіла, що знаходиться в термодинамічній рівновазі з АЧТ при певній температурі (наприклад, випромінювання всередині порожнини в моделі АЧТ), називається чорнотільним (або тепловим рівноважним) випромінюванням. Таке випромінювання є однорідним, ізотропним і неполяризованим. Перенесення енергії в ньому відсутнє і всі його характеристики залежать винятково від температури чорнотільного випромінювача. Оскільки чорнотільне випромінювання перебуває в тепловій рівновазі з тілом, що випромінює, то температура тіла і його колір узгоджені між собою.

Відповідність між кольоровістю випромінювання АЧТ і його температурою наводиться в Табл.1.1.

Таблиця 1.1.

Температура АЧТ і кольоровість його випромінювання

Температура, К	Колір
до 1000	Червоний
1000–1500	Помаранчевий
1500–2000	Жовтий
2000–4000	Блідо-жовтий
4000–5500	Жовтувато-білий
5500–7000	Чисто білий

Зміст завдання розрахунково-графічної роботи 1

1.1. Розрахувати залежність спектральної випромінювальної здатності від довжини хвилі при температурах T_1 і T_2 та побудувати графіки на одному рисунку, чітко виявивши частоти, на яких спостерігаються максимуми випромінювання. Характерний діапазон довжин хвиль при даних температурах обрати самостійно в межах від 0,1 до 100 мкм. Провести аналіз результатів розрахунку.

1.2. Вважаючи, що випромінювальна здатність реального об'єкта (сірого тіла) порівняно з АЧТ такої ж температури визначається його поглинальною здатністю A_T , розрахувати випромінювану потужність P , якщо температура об'єкта T_1 , температура середовища (фона) T_0 , а площа об'єкта дорівнює S .

1.3. Визначити оптимальний діапазон довжин хвиль для спостереження об'єкта, який характеризується заданим кольором за умови чорнотілого випромінювання.

Методичні рекомендації до виконання завдання розрахунково-графічної роботи 1

Варіанти вихідних даних беруть з додатку 2. Індивідуальний номер варіанта визначають за сумою двох останніх цифр залікової книжки студента. Вихідними даними до роботи є:

- температури тіл T_1 і T_2 ;
- поглинальна здатність A_r при температурі T ;
- температура середовища T_0 ;
- площа поверхні об'єкта S , м²;
- кольоровість випромінювання АЧТ.

Всі температури даються в кельвінах.

Передусім необхідно розібратися у фізичних і математичних моделях випромінювальних властивостей об'єктів, що містяться у теоретичних відомостях до цієї роботи.

Вибравши свій варіант завдання, необхідно виконати розрахунки. Всі задачі пов'язані між собою і кожна наступна доповнює попередню.

Для виконання **завдання 1.1** доцільно використати формулу закону Планка, яка визначає спектральну випромінювальну здатність АЧТ як функцію довжини хвилі.

В результаті розрахунку і побудови графіка необхідно добитися чіткого і якісного відображення характеру залежності з типовими максимумами, що відрізняються для різних температур. Для цього рекомендується застосувати відомі методи математичного аналізу для визначення максимуму функції, а потім для кількісних розрахунків брати значення довжини хвилі в околі точки максимуму.

Необгрунтоване підставлення довільних значень довжини хвилі в розрахункову формулу може призвести до втрати інформації про реальний максимум досліджуваної функції і суттєвого викривлення шуканої залежності. Такий результат не може бути захищений при захисті РГР 1.

Для виконання кількісних розрахунків і побудови графіків рекомендується користуватися програмним середовищем Mathcad.

Завдання 1.2 ґрунтується на застосуванні закону Стефана-Больцмана, а також на врахуванні відмінності реального об'єкта від АЧТ. Формула (1.11) виражає закон Стефана-Больцмана для АЧТ. Для сірого тіла вираз для інтегральної випромінювальної здатності згідно з формулою (1.12) можна записати як $R_r = A_r \sigma T^4$. Ця величина по суті є питомою потужністю на одиницю площі. Тоді треба взяти до уваги задану площу поверхні об'єкта і контраст температур між ним і фоном.

Завдання 1.3 полягає в оцінці діапазону довжин хвиль в оптичному діапазоні, який є найкращим для вимірювання температури заданих об'єктів. Для виконання цього завдання

достатньо перейти від заданого кольору об'єкта до границь відповідних температур за табл. 1.1 на с. 17. Далі граничні довжини хвиль визначаються за законом Віна. У разі червоного кольору рекомендується за нижню границю температури взяти температуру 300 К.

Висновки

Виконані розрахунки й оформлені результати з усіх трьох завдань РГР1 необхідно завершити змістовними висновками. Висновки робляться в довільній формі і повинні включати пункти, що стосуються кожного окремого завдання, а також узагальнювальні висновки з усіх результатів роботи. Висновки оформляються як заключний розділ роботи. Вони є важливою складовою частиною РГР1 і свідчать про рівень і самостійність осмислення теми та результатів.

Розрахунково-графічна робота 2 ВІДБИВНА ЗДАТНІСТЬ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ У МІКРОХВИЛЬОВОМУ ДІАПАЗОНІ

Мета роботи – на основі вивчення відбивної здатності земної поверхні, рівняння радіолокації та ефективної площі зворотного розсіяння поверхнево розподілених об'єктів розрахувати дальність дії під час спостереження земної поверхні заданого типу при заданих параметрах мікрохвильової радіолокаційної системи дистанційного зондування.

Теоретичні відомості

Принцип дії радіолокатора огляду земної поверхні.
Радіолокаційна станція (РЛС) кругового огляду призначена для виявлення об'єктів і вимірювання їхніх координат. Спрощену функціональну схему для пояснення принципу дії РЛС показано на рис. 2.1. Збирання інформації здійснюється шляхом опромінення і приймання відбитих сигналів. Електромагнітні коливання мікрохвильового діапазону, що генеруються передавачем, за

допомогою антени випромінюються в простір і при досягненні об'єкта відбиваються від нього. Частина відбитої енергії потрапляє назад в антенний пристрій РЛС. Відбиті коливання (ехо-сигнали), які є радіолокаційним сигналом, що містить інформацію про об'єкт, можуть бути досить слабкими. Для їх виявлення використовуються чутливі приймачі. Після виявлення сигнал підсилюється в приймачі і фіксується у вихідному пристрої. Поява сигналів на виході РЛС свідчить про наявність об'єкта, а величина відбитого сигналу за іншими рівними обставинами залежить від відбивних властивостей об'єкта.

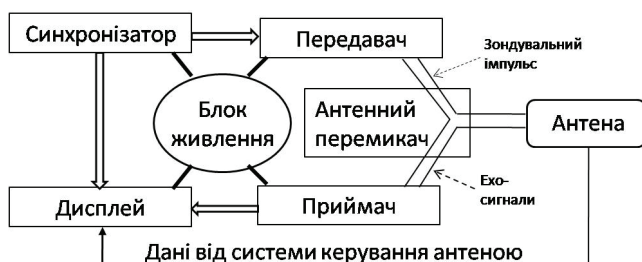


Рис. 2.1. Спрощена схема РЛС кругового огляду.

Відстань до об'єкта визначається імпульсним методом. Формувач імпульсів запуску виробляє імпульси із заданою частотою повторення $F_{\text{п}}$. Ці імпульси використовуються для запуску передавача і синхронізації вихідного пристрою. До складу передавача входить імпульсний модулятор, що формує імпульси необхідної тривалості τ і потужності. Ці імпульси керують генератором високої частоти. Радіоімпульси з потужністю P_t , вироблювані генератором, проходять через антенний перемикач і випромінюються за допомогою антени в простір. Відбиті сигнали у вигляді радіоімпульсів меншої потужності повертаються назад у радіолокатор. Вони характеризуються певним часом запізнювання відносно випромінюваних імпульсів $t=2D/c$, де D – відстань між РЛС і об'єктом, наприклад, елементом земної поверхні. Відбиті сигнали приймаються тією же антеною і через антенний перемикач надходять у приймач, де підсилюються і детектуються. Після детектування сигнали надходять у вихідний пристрій РЛС, де

здійснюється вимірювання часу запізнювання, потужності прийнятих сигналів та інших параметрів, що несуть інформацію про об'єкт.

Кутові координати об'єкта визначаються за напрямком надходження сигналу. Антенна система з вузькою діаграмою направленості (ДН) здійснює послідовний огляд простору. Сигнал від цілі, прийнятий антенною системою, підсилюється в приймачі і надходить у вихідний пристрій, де визначається поточний кут повороту ДН. Таким чином здійснюється вимірювання напрямку на об'єкт.

Як вихідний пристрій РЛС може бути використаний індикатор кругового огляду. Електромагнітне поле системи відхилення пучка електронів електронно-променевої трубки, обертається навколо горловини трубки синхронно з обертанням антени і живиться пилкоподібним струмом від схеми розгорнення. При відповідному початковому орієнтуванні поля й осі антени на екрані трубки буде видно радіальну лінію, яку прокреслює електронний промінь. У кожний момент часу ця лінія буде вказувати положення осі ДН у просторі. Сигнали з виходу приймача подаються на керуючий електрод трубки і збільшують у момент надходження яскравість лінії розгорнення, яка прокреслює радіус на екрані, напрям якого відповідає напряму на об'єкт. За час опромінення кожної елементарної ділянки поверхні на екрані буде відповідне засвічення, яскравість якого відповідає потужності відбитого сигналу.

Довжина радіуса до певної точки на екрані в масштабі представляє дальність до об'єкта (ділянки поверхні), а кут між відліковим напрямком і радіусом – її азимут. Для збереження зображення на час, рівний періодові огляду, екран трубки виконується з післясвітінням. Дані можуть бути наведені також у цифровій формі, що і робиться в сучасних радіолокаторах. У цьому разі індикаторами можуть бути електронно-променеві трубки телевізійного типу або дисплеї на рідких кристалах.

Під час обзору земної поверхні радіолокатором, установленим на борту літального апарату, відбиті від поверхні сигнали формують зображення поверхні, яка є розподіленою ціллю, різні елементи якої мають різні відбивні якості. Саме це і лежить в основі огляду та ідентифікації різних поверхонь або їх елементів.

Умовна карта поверхні може бути надана оператору візуально у вигляді тонового зображення, або зображення з кольоровим кодуванням.

Розрахунок відбивної здатності поверхні. Відбивна здатність об'єктів (цілей) у радіолокації характеризується ефективною відбивною площею (ЕВП). Для розподілених цілей, таких як поверхня землі, користуються поняттям питомої ЕВП η , яка є ЕВП одиниці поверхні і в дистанційному зондуванні називається відбивальною здатністю. Питома ефективна відбивна площа поверхні в заданому діапазоні довжин хвиль залежить від властивостей самої поверхні, а також кута візування, тобто кута нахилу діаграми направленості антени відносно вертикалі. У таблиці 2.1 наведено характерні значення питомої відбивної здатності деяких типів земної поверхні у сантиметровому діапазоні довжин хвиль при куті візування $\gamma=80^\circ$.

Таблиця 2.1

Питома ефективна відбивна площа (відбивна здатність) різних типів поверхні

Вид поверхні	Граничні значення η , дБ
Місто	-13 ... -25
Оброблена земля	-19 ... -33
Асфальт	-45 ... -49
Бетон	-52 ... 54
Море (штиль)	-52 ... -56
Море (3 бала)	-34 ... -38

12В

На рис.4.2 показані кут візування γ та елементарна геометрична площадка S на поверхні землі, яка опромінюється променем РЛС.

Ефективна відбивна площа σ визначається як добуток питомої ЕВП η і геометричної площі S , яка в свою чергу залежить від тривалості зондувальних імпульсів τ , ширини ДН антени θ і кута візування γ .

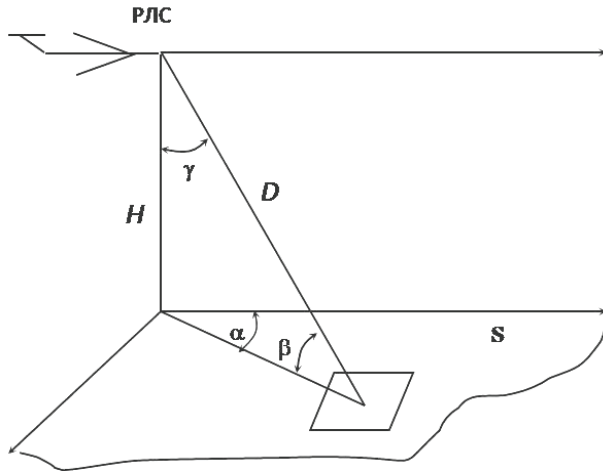


Рис. 2.2. Схема опромінення земної поверхні бортовим радіолокатором.

Враховуючи, що дальність D від РЛС до поверхні S дорівнює $D = H / \cos \gamma$, а також, що площа S , яка одночасно опромінюється, залежить від тривалості імпульсу τ , ширини ДН антени θ і дальності D , для розрахунку ЕПВ σ використовують

$$\sigma = \eta \theta \frac{c \tau H}{2 \sin \gamma \cos \gamma}, \quad (2.1)$$

де c – швидкість світла; H – висота польоту носія РЛС.

Ширина ДН антени менша, коли антена більша і довжина хвилі менша; орієнтовно ширину ДН θ в радіанах можна оцінити, знаючи довжину хвилі λ і розмір антени d_a у відповідній площині

$$\theta \approx \frac{\lambda}{d_a}. \quad (2.2)$$

Таким чином можна розрахувати ЕВП заданого типу поверхні при певних умовах спостереження.

Розрахунок максимальної дальності дії. Дальність дії РЛС без урахування ослаблення енергії радіохвиль при поширенні в атмосфері оцінюється за рівнянням радіолокації:

$$D_{\max} = \sqrt[4]{\frac{E_{\text{прд}} S_a^2 \sigma}{4\pi\lambda^2 m_p E_N}}, \quad (2.3)$$

де $E_{\text{прд}} = P_{\text{прд}} \tau$ – енергія, що випромінюється РЛС в одному імпульсі; $P_{\text{прд}}$ – імпульсна потужність передавача; S_a – ефективна площа антени (для дзеркальної антени вона трохи менша за геометричну площу дзеркала: $S_a \approx \pi d_a^2 / 4$); m_p – коефіцієнт розрізнення (відношення енергії сигналу до енергії шуму на вході приймача, при якому забезпечується приймання відбитих сигналів із заданими ймовірностями правильного виявлення W_D і хибної тривоги W_F); E_N – енергія шумів, що діють при прийманні.

Для визначення необхідного коефіцієнта розрізнення слід врахувати втрати в різних елементах РЛС. Тоді коефіцієнт розрізнення можна записати як

$$m_p = m_{po} L, \quad (2.4)$$

де L – сумарні втрати в системі, викликані різними чинниками (в приблизних розрахунках можна взяти $L=10$, якщо не задано інше значення); m_{po} – теоретичний коефіцієнт розрізнення, який за умови когерентного накопичення пачки з N імпульсів розраховується за формулою

$$m_{po} = \frac{q_0}{2N}, \quad (4.5)$$

де q_0 – граничне значення параметра виявлення сигналу; N – кількість імпульсів, які приймаються від цілі (об'єм вибірки).

Параметр виявлення q за фізичним змістом являє собою відношення сигнал-шум на один імпульс $q^2 = 2E_s / N_0$, де E_s –

енергія відбитого сигналу на вході приймача, а N_0 – спектральна щільність потужності шуму.

Величина q_0 визначається бажаними ймовірностями правильного виявлення W_D і хибної тривоги W_F , тобто $q_0 = f(W_D, W_F)$. Вид цієї функції залежить від обраного критерію оптимальності виявлення та статистичних моделей сигналів і завад. Для оцінки q_0 в розрахунково-графічній роботі рекомендується скористатися формулою

$$q_0 = 2 \left(\frac{\lg(1/W_F)}{\lg(1/W_D)} - 1 \right). \quad (2.6)$$

Кількість імпульсів у вибірці

$$N = t_e F_{\Pi}, \quad (2.7)$$

де t_e – час експозиції; F_{Π} – частота повторення зондувальних імпульсів. Час експозиції, тобто час, протягом якого антена, що сканує, направлена на елемент поверхні, визначається як

$$t_e = \frac{\theta}{\Omega_a} \quad (2.8)$$

де θ – ширина ДН антени; Ω_a – кутова швидкість обертання антени $\Omega_a = 2\pi/T_o$; T_o – одноразовий період огляду всієї зони огляду.

Енергія шумів, що діють при прийманні

$$E_N = k k_N T, \quad (2.9)$$

де T – температура приймача, К (можна взяти $T=300\text{К}$); k – стала Больцмана $k=1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/град; k_N – коефіцієнт шуму приймача.

Розрахована таким чином величина максимальної дальності дасть оцінку відстані, з якої цей радіолокатор здатен виявляти

сигнали, відбиті від поверхні заданого типу при зазначених імовірностях правильного виявлення та хибної тривоги.

Розрахунок реальної роздільної здатності. Коли у ролі терміналу використовується індикатор кругового огляду, реальну роздільну здатність по дальності визначають як суму потенційної роздільної здатності і роздільної здатності індикатора:

$$\delta(D) = \delta(D)_{\text{пот}} + \delta(D)_{\text{інд}}. \quad (2.10)$$

Потенційна роздільна здатність по дальності для сигналу у вигляді пачки прямокутних імпульсів:

$$\delta(D)_{\text{пот}} = \frac{c\tau}{2}. \quad (2.11)$$

Роздільна здатність індикатора може бути одного порядку з потенційною роздільною здатністю РЛС. Таким чином, реальна роздільна здатність по дальності завжди гірша за потенційну.

Реальна роздільна здатність по азимуту визначається шириною ДН антени радіолокатора (потенційна) і також погіршується за рахунок властивостей індикатора:

$$\delta(\varphi) = \delta(\varphi)_{\text{пот}} + \delta(\varphi)_{\text{інд}}. \quad (2.12)$$

У разі апроксимації форми ДН антени гауссовою кривою потенційну роздільну здатність по азимуту можна грубо оцінити за формулою

$$\delta(\varphi)_{\text{пот}} \approx 1,3\theta. \quad (2.13)$$

Залежність прийнятої потужності відбитого сигналу від ефективної площі розсіяння поверхні землі. Для дослідження залежності прийнятого сигналу від ЕВП будемо виходити з рівняння (2.3), яке з урахуванням виразу (2.9) перепишемо нас таким чином

$$D_{\max}^4 = \frac{E_{\text{ПРД}} S_a^2 \sigma}{4\pi\lambda^2 m_p E_N}; \quad D_{\max}^4 = \frac{P_{\text{ПРД}} \tau S_a^2 \sigma}{4\pi\lambda^2 m_p k k_N T}. \quad (2.14)$$

Далі візьмемо до уваги, що смуга пропускання приймача узгоджена з шириною спектра сигналу, а отже, і з тривалістю імпульсу: $\Delta f \approx \frac{1}{\tau}$. Підставивши $\tau = \frac{1}{\Delta f}$ в друге рівняння з (2.14) і

отримавши $D_{\max}^4 = \frac{P_t S_a^2 \sigma}{4\pi\lambda^2 k T \Delta f k_N m_p}$, бачимо, що у знаменнику маємо

мінімальну потужність сигналу на вході приймача, яку він здатен виявити із зазначеними у вихідних даних імовірностями правильного виявлення W_D і хибної тривоги W_F :

$$k T \Delta f k_N m_p = P_{\text{пр min}}. \quad (2.15)$$

Тоді можемо записати

$$D_{\max}^4 = \frac{P_t S_a^2 \sigma}{4\pi\lambda^2 P_{\text{пр min}}}. \quad (2.16)$$

Замість ЕВП σ підставимо у формулу (2.16) залежність $\sigma(\eta)$ з формули (2.1) і розв'яжемо рівняння (2.16) відносно $P_{\text{пр min}}$. Тоді

отримаємо $P_{\text{пр min}} = \frac{P_t S_a^2 \theta c \tau H \eta}{8\pi\lambda^2 D_{\max}^4 \sin \gamma \cos \gamma}$. Це рівняння визначає

мінімальну потужність на вході приймача, яка створюється відбитою енергією від об'єкта, що знаходиться на максимальній дальності. Якщо замість максимальної дальності D_{\max} записати довільну дальність D , то замість мінімальної потужності на вході $P_{\text{пр min}}$ треба писати потужність $P_{\text{пр}}$. Таким чином, дістаємо рівняння, у якому також замість D підставлено $H/\cos \gamma$:

$$P_{\text{пр}}(\eta) = \frac{P_t S_a^2 \theta c \tau \cos^3 \gamma}{8\pi \lambda^2 H^3 \sin \gamma} \eta. \quad (2.17)$$

Рівняння (2.17) може бути використано для побудови залежності прийнятої потужності від відбивної здатності земної поверхні.

Приклад графічного подавання результатів розрахунків прийнятої потужності $P_{\text{пр}}$ в залежності від питомої ефективної відбивальної здатності земної поверхні η для трьох висот польоту показано на рис. 2.3.

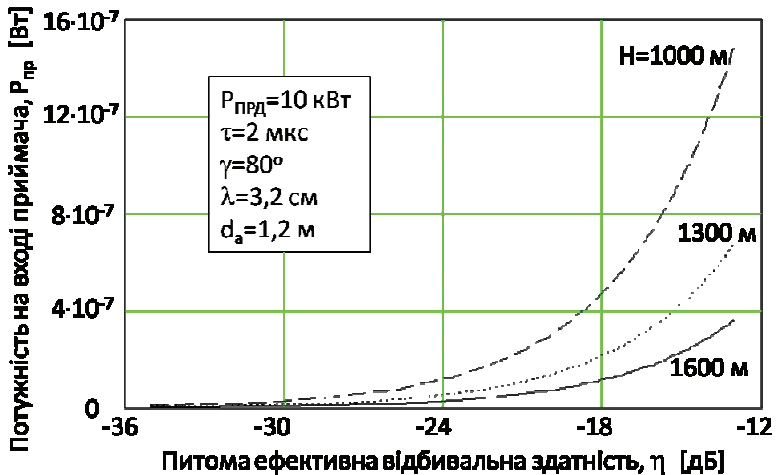


Рис. 2.3. Залежність потужності відбитого сигналу від питомої ЕВП поверхні.

Таким чином, за допомогою РЛС можна здійснювати огляд поверхні, вимірювати координати об'єктів та формувати радіолокаційні зображення. Потужність відбитого сигналу залежить від питомої ЕВП поверхні. Яскравість зображення елемента поверхні буде тим більшою, чим кращі відбивні властивості певного елемента поверхні.

Зміст завдання розрахунково-графічної роботи 2

2.1. Розрахувати експлуатаційні показники типової панорамної РЛС огляду Землі:

а) максимальну дальність (без урахування поглинання в атмосфері);

б) реальну роздільну здатність по дальності та азимуту.

2.2. Побудувати графік залежності прийнятої потужності відбитого сигналу від відбивальної здатності (питомої ефективної площі розсіяння) земної поверхні.

2.3. Скласти спрощену схему РЛС та стисло описати принцип її роботи.

Методичні рекомендації до виконання завдання розрахунково-графічної роботи 2

Варіанти вихідних даних наведено в дод. 3. Вихідними даними до роботи є:

- довжина хвилі λ , см;
- імпульсна потужність передавача $P_{\text{прд}}$, кВт;
- тривалість імпульсів τ , мкс;
- частота повторення імпульсів $F_{\text{п}}$, Гц;
- діаметр дзеркала антени d_a , м;
- період однократного огляду всієї зони огляду T_o , с;
- коефіцієнт шуму приймача k_N ;
- імовірність правильного виявлення W_D ;
- імовірність хибної тривоги W_F ;
- питома ЕВП η ;
- висота польоту літака – носія РЛС H , км;
- кут нахилу антени при огляді землі (від вертикалі) γ , град.;
- вид поверхні (ВП).

Номер варіанта визначають за сумою двох останніх цифр залікової книжки студента.

Необхідно уважно ознайомитися з основними теоретичними відомості до РГР 2, а також відповідними розділи з літератури, список якої наведено в цих методичних рекомендаціях. Роботу необхідно виконувати відповідно до вихідних даних свого варіанта. Три завдання пов'язані між собою і разом дають студенту цілісне уявлення про принципи і деякі особливості огляду земної поверхні за допомогою бортової мікрохвильової панорамної радіолокаційної системи.

Для виконання розрахунків і побудови графіків рекомендується користуватися програмним середовищем Mathcad.

Завдання 2.1 полягає у розрахунку дальності дії РЛС при огляді земної поверхні. Воно базується на використанні рівняння радіолокації, яке поєднує характеристики об'єкта спостереження, параметри системи спостереження і дальність виявлення об'єкта.

У вихідних даних відповідно до варіанту завдання указаний конкретний об'єкт спостереження (наприклад, море при штормі 3 бала). Доцільно взяти середню величину питомої ЕВП з табл. 2.1, де вона наведена в децибелах. Для коректного виконання розрахунків відповідно до теоретичних відомостей необхідно перейти від питомої ЕВП в децибелах $\eta_{дв}$ до абсолютних величин η . Наприклад, значення -36 дБ означає, що $10\lg\eta = -36$, звідки легко обчислити абсолютну величину η . Далі величина ЕПР розраховується згідно з методикою, що викладена в теоретичних відомостях до РГР 2.

Наступний етап завдання – розрахунок максимальної дальності дії РЛС у разі виявлення відбитого сигналу від поверхні, ЕПР якої щойно була розрахована. Необхідно взяти до уваги, що за визначенням, максимальна дальність виявлення об'єкта – це відстань між радіолокатором і об'єктом, за якої цей об'єкт може бути виявленим із заданими ймовірностями правильних і помилкових рішень. Ці ймовірності, а саме ймовірності правильного виявлення та хибної тривоги даються у вихідних даних. Методика розрахунків наведена в теоретичних відомостях. У цій задачі для спрощення розрахунків можна не брати до уваги ослаблення енергії радіохвиль при поширенні в атмосфері. Але необхідно пам'ятати, що в реальній ситуації дальність дії може виявитися меншою ніж оцінка, що буде отримана. Це зменшення в

принципі може бути скомпенсоване, наприклад, відповідним підвищенням потужності передавача.

Заключний етап завдання 2.1 – це розрахунок реальної роздільної здатності по дальності та азимуту. У цій роботі рекомендується припустити, що індикація здійснюється на панорамному дисплеї типу індикатора кругового огляду. У такому разі вплив індикатора на погіршення роздільної здатності порівняно з потенційною роздільною здатністю оцінюється за відомими методиками, які можна знайти в підручниках з радіолокації [4], [6]. Роздільна здатність індикатора буде кращою при більших розмірах екрану, кращому фокусуванні променя електронів (при використанні електронно-променевої трубки) і крупнішому масштабі зображення.

Для спрощення розрахунків у першому наближенні можна вважати, що роздільна здатність індикатора є одного порядку із потенціальною роздільною здатністю.

Завдання 2.2 полягає у виконанні розрахунків і побудові графіка залежності прийнятої потужності відбитого сигналу від відбивної здатності (питомої ефективної площі розсіяння) земної поверхні.

Характер залежності прийнятого сигналу від питомої ЕВП досліджено в теоретичних відомостях, де отримано формулу (2.17), яка пов'язує потужність сигналу на вході приймача з відбивальною здатністю поверхні $P_{\text{пр}} = f(\eta)$. Але не слід обмежуватися формальними розрахунками за цим рівнянням. Необхідно детально розібратися в наведених фізичних і математичних особливостях виводу цього рівняння. Крім того, легко помітити, що рівняння (2.17) містить параметри антени (ширину ДН) і ефективну площу антени, які відсутні у вихідних даних. Тому його доцільно переписати, підставивши вирази оцінок цих параметрів через задані розміри антени і довжину хвилі. Це має привести до певного спрощення остаточного рівняння, яке доцільно використати для виконання розрахунків за своїми вихідними даними. Приклад оформлення графіка показано на рис. 2.3.

При підстановці значень питомої ЕВП у децибелах $\eta_{\text{дБ}}$ у рівняння $P_{\text{пр}} = f(\eta)$ необхідно перейти від децибелів до

абсолютних величин $\eta = 10^{-0,1|N_{dB}|}$. Крім графіка, на якому $P_{пр}$ показано в лінійному масштабі, можна побудувати також графік в логарифмічному масштабі по осі ординат. Вісь абсцис на рис. 2.3 уже є логарифмічною, тому що зображує ЕВП в децибелах.

Завдання 2.3 передбачає, що студент самостійно побудує спрощену схему бортової РЛС огляду землі та стисло опише принцип її роботи.

Не слід перерисовувати схему, показану в цих методичних рекомендаціях (див. рис. 2.1). Замість цього доцільно скористатися додатковими матеріалами з підручників, навчальних посібників, Інтернету, технічних описів реальних бортових РЛС з режимом огляду земної поверхні, наприклад, «Гроза», «Буран», «РОЗ-1», «Primus», «RDR», «WXR» тощо.

Пояснюючи принцип дії радіолокатора, доцільно навести епюри сигналів на входах та виходах основних функціональних вузлів з дотриманням синхронізації в часі.

Висновки

Виконані розрахунки і оформлені результати по всіх трьох завданнях РГР2 необхідно завершити змістовними висновками. Висновки робляться в довільній формі і повинні включати пункти, що стосуються кожного окремого завдання та його складових, а також узагальнювальні висновки за всіма результатами роботи. Наприклад, цікаві та корисні висновки щодо потужності, відбитої від різних поверхонь, можна зробити зіставивши зміст і отримані результати завдань 2.1 і 2.2.

Висновки оформляються як заключний розділ роботи. Вони складають важливу частину РГР 2 і є мірою самостійності виконання роботи, глибини розуміння отриманих результатів, а також свідчать про здатність студента до аналітичної роботи.

Список літератури

1. *Яновський Ф. Й.* Дистанційне зондування земної поверхні. Електронний підручник. / Ф. Й. Яновський. – К.: НАУ, 2008. – На сайті: www.ans.nau.edu.ua
2. *Мартинсон Л. К.* Квантовая физика (раздел: Законы теплового излучения). / Л. К. Мартинсон, Е. В. Смирнов. – М.: МГТУ им. Баумана, 2004. – 496 с.
3. *Лурье И. К.* Дистанционное зондирование и географические информационные системы. / И. К. Лурье, А. Г. Косиков. – Теория и практика цифровой обработки изображений / Под ред. А. М. Берлянта. – М.: Научный мир, 2003. – 168 с.
4. *Яновский Ф. И.* Бортовые метеонавигационные радиолокаторы. Физические основы, основные параметры и принципы построения. / Ф. И. Яновский. – К.: КИИГА, 1985. – 82 с.
5. *Яновський Ф. Й.* Метеонавігаційні радіолокаційні системи повітряних суден. / Ф. Й. Яновський. – К.: НАУ, 2003.- 302 с.
6. *Финкельштейн М. И.* Основы радиолокации. / М. И. Финкельштейн. – М.: Радио и связь, 1983. – 536 с.

ДОДАТОК 1

ЗРАЗОК ОФОРМЛЕННЯ ТИТУЛЬНОГО АРКУША

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний авіаційний університет

РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА 1
з дисципліни «Аерокосмічні знімання
та дистанційне зондування»
на тему
«Випромінювальні властивості земної поверхні»

Номер варіанта _____
Номер залікової книжки _____

Виконав студент _____
(група, курс, факультет)

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Київ – (рік)

ДОДАТОК 2

Вихідні дані до РГР 1

Варіант	T_1	T_2	A_T	T_0	S	Колір
1	200	300	0,9	190	10000	Червоний
2	300	400	0,85	290	9000	Червоний
3	400	500	0,8	300	8000	Червоний
4	500	600	0,75	300	7000	Червоний
5	600	700	0,7	300	6000	Червоний
6	700	800	0,65	300	5000	Червоний
7	800	900	0,6	300	4000	Помаранчевий
8	900	1100	0,55	300	5000	Помаранчевий
9	1000	1200	0,5	300	4000	Помаранчевий
10	1100	1300	0,45	300	3000	Помаранчевий
11	1200	1400	0,4	300	2000	Помаранчевий
12	1300	1500	0,34	300	1000	Жовтий
13	1400	1600	0,3	300	900	Жовтий
14	1500	1700	0,35	300	800	Жовтий
15	1600	1800	0,2	300	700	Жовтий
16	1700	1900	0,25	300	600	Жовтий
17	1800	2000	0,2	300	500	Блідо-жовтий
18	1900	2100	0,15	300	400	Блідо-жовтий

ДОДАТОК 3

Вихідні дані до РГР 2

Варіант	λ	$P_{\text{прд}}$	τ	$F_{\text{п}}$	d_a	T_o	k_N	H	W_D	W_F	γ	ВП
1	3	10	3	400	760	5	7	1	0,5	10^{-6}	80	МС
2	5	20	2	500	960	4	5	2	0,6	10^{-5}	70	ОЗ
3	3	30	3	600	760	4	6	3	0,7	10^{-5}	60	АС
4	5	40	2	800	960	3	5	4	0,7	10^{-5}	50	БТ
5	3	50	2	900	560	2	6	5	0,8	10^{-6}	40	М0
6	5	60	1	400	760	5	6	6	0,8	10^{-7}	80	МЗ
7	5	50	1	500	960	4	6	5	0,9	10^{-8}	70	МС
8	3	60	2	700	560	3	7	4	0,8	10^{-7}	60	ОЗ
9	5	40	1	600	960	3	5	3	0,7	10^{-7}	50	АС
10	3	30	2	800	760	4	6	2	0,7	10^{-6}	40	БТ
11	5	20	1	900	760	4	5	1	0,6	10^{-5}	80	М0
12	3	10	2	450	760	3	6	1	0,6	10^{-5}	70	МЗ
13	5	10	3	500	960	4	6	2	0,5	10^{-5}	60	МС
14	3	20	2	400	560	5	5	3	0,4	10^{-4}	50	ОЗ
15	5	30	2	600	760	5	7	4	0,5	10^{-6}	45	АС
16	3	40	1	700	750	4	7	5	0,6	10^{-5}	60	БТ
17	5	50	1	800	960	4	6	6	0,7	10^{-7}	70	М0
18	3	60	1	900	760	3	6	1	0,8	10^{-5}	80	МЗ

Код виду поверхні (ВП)	Вид поверхні
МС	Місто
ОЗ	Оброблена земля
АС	Асфальт
БТ	Бетон
М0	Море (штиль)
МЗ	Море (3 бала)