

## Навчальна програма з дисципліни

# Антенні пристрої засобів зв'язку та розповсюдження радіохвиль

## 1. Вступ

### 1.1.Об'єкт вивчення

Об'єктом курсу є антенні пристрої засобів зв'язку, основані на принципах побудови антен різних діапазонів: вібраторних, багато вібраторних антенних ґраток, рупорних, параболічних, рупорно-параболічних, лінзових, рупорно-лінзових, перископічних, щілинних, діелектричних стержньових, спіральних антен, а також антенних ґраток з будь-яких антен НВЧ.

### 1.2.Предмет вивчення

Предмет курсу - вивчення принципів дії різних антенних пристроїв засобів зв'язку, а також методів, які використовуються при їх розробці і конструюванні.

### 1.3.Мета навчання

Метою викладання дисципліни є формування у студентів теоретичних і конструкторських навичок та знань, які необхідні при подальшій їх участі у проектуванні, виробленні та експлуатації антенних пристроїв засобів зв'язку.

Внаслідок вивчення курсу студенти повинні **знати**:

- основні параметри передавальних та приймальних антен;
- основні принципи формування гостроспрямованих діаграм спрямованості;
- вплив провідних (підстилаючи) поверхонь на характеристики антен;
- методи побудови антен за заданими діаграмами спрямованості;
- типи антен, що використовуються у системах зв'язку, принципи роботи, будову та вимоги, які пред'являються до сучасних антен.

Внаслідок вивчення курсу студенти повинні **вміти**:

- користуватись основами електродинаміки для розрахунку різних типів антенних пристроїв;
- самостійно вивчати нові розділи по антенним пристроям засобів зв'язку;
- користуватись вивченим матеріалом при конструюванні найновіших типів антенних пристроїв.

Внаслідок вивчення курсу студенти повинні **мати уявлення**:

- про фізичні процеси, що відбуваються в конкретних типах передавальних та приймальних антен;
- про методи, що використовуються при проектуванні та розрахунку різних типів антен;
- про методи інженерного аналізу, обґрунтувань та розрахунків антенних пристроїв;
- про фізичні процеси, що чиняться у фідерних лініях (хвилеводах, коаксіальних лініях, лініях біжучої хвилі).

## 2. Зміст дисципліни

**Усього годин – 297**, у тому числі: аудиторна робота студента – **120** години, самостійна робота – **177** година.

### **Частина I. Антенні пристрої засобів зв'язку**

**Усього годин – 193**, у тому числі: аудиторна робота студента – **80** години, самостійна робота – **113** година.

#### **Розділ I. Параметри антен**

Місце й призначення дисципліни у підготовці радіоінженерів. Основний зміст. Антенно-фідерні пристрої в радіолінії. Область застосування антенних пристроїв та вимоги, що пред'являються до них. Короткий історичний огляд розвитку антенно-фідерних пристроїв та пристроїв НВЧ.

Класифікація параметрів. Параметри, що характеризують функцію перетворення – вхідний опір, опір випромінювання, опір втрат, активна, реактивна та узгоджена потужності, коефіцієнт узгодження, коефіцієнт корисної дії (ККД). Параметри, що характеризують функцію випромінювання – діаграма спрямованості (ДС), діюча висота, коефіцієнт спрямованої дії (КСД). Параметри, загальні для обох функцій – діюча площа, коефіцієнт підсилення, поляризаційна, частотна та фазова характеристики, шумова температура. Близня, проміжна та дальня зони. Елементарні випромінювачі та їх параметри.

**Усього годин на вивчення розділу – 14**, у тому числі: аудиторна робота – 6 годин, самостійна робота – 8 години.

## **Розділ II. Приймальні антени**

Параметри приймальних антен. Теорема взаємності. Її використання для доказу збіжності параметрів антен у режимах прийому та передачі. Потужність, яку віддає антена в узгоджуваний приймач. Діюча висота та діюча площа антени. КСД, ККД, коефіцієнт підсилення, коефіцієнт використання поверхні (КВП), результуючий КВП.

Відношення потужності сигналу до потужності зовнішніх перешкод у приймальній антені. Коефіцієнт перешкодозахищеності. Флукуаційні шуми та шумова температура.

Особливості роботи антен у режимах прийому та передавання.

**Усього годин на вивчення розділу – 5**, у тому числі: аудиторна робота – 2 години, самостійна робота – 3 години.

## **Розділ III. Симетричний вібратор у вільному просторі**

Наближений метод аналізу симетричного вібратора (СВ), заснований на теорії довгих ліній. Розподіл струму та заряду вздовж СВ. Діаграма спрямованості СВ. Діюча висота та КСД СВ. Застосування методу вектора Пойнтінга для розрахунку потужності та опору випромінювання СВ. Залежність опору випромінювання від електричної довжини СВ. Інженерний засіб розрахунку вхідного опору вібратора. Криві активної та реактивної складових вхідного опору у залежності від електричної довжини СВ для різних значень хвильового опору. Антенний проміжок.

**Усього годин на вивчення розділу – 12**, у тому числі: аудиторна робота – 4 години, самостійна робота – 8 години.

## **Розділ IV. Спрямоване випромінювання. Системи дискретних випромінювачів**

ДС системи з двох ізотропних випромінювачів. Синфазна та протифазна системи. Система "антена - активний рефlector".

Загальні принципи формування гостроспрямованих ДС. Синфазна та лінійно-фазна ґратки з неспрямованих випромінювачів. ДС, ширина головної пелюстки, кількість та рівень бокових пелюсток. Вплив віддалі між випромінювачами на ДС. Ґратки із спрямованих випромінювачів. Правило Бонч-Бруєвича. Площинні та об'ємні ґратки. Надспрямовані антени.

Контурні співвідношення для зв'язаних вібраторів. Метод наведених ЕРС. Вносимі та повні опори. Залежності активної та реактивної складових наведених опорів від віддалі для двох паралельних напівхвильових вібраторів.

**Усього годин на вивчення розділу – 24**, у тому числі: аудиторна робота – 8 годин, самостійна робота – 16 годин.

## **Розділ V. Вплив провідної поверхні на випромінювання антен**

Вплив провідної поверхні на ДС симетричних горизонтального та вертикального СВ. Вплив висоти підвісу вібраторів на опір випромінювання, вхідний опір та КСД з рахунком провідної поверхні. Несиметричний вібратор. Узгодження короткого несиметричного вібратора з генератором.

ДС складних антен, розташованих над провідною поверхнею. Розрахунок опору випромінювання ґратки вібраторів над провідною поверхнею.

**Усього годин на вивчення розділу – 5**, у тому числі: аудиторна робота – 2 години, самостійна робота – 3 години.

#### **Розділ VI. Системи неперервно розміщених випромінювачів (випромінювання розкривів)**

Застосування методу перетворення Фур'є до розрахунку поля випромінювання антен. Випромінювання ідеальної антени прямокутної та круглої форми. Випромінювання розкривів з різними законами розподілу амплітуд та фаз. ДС, ширина головної пелюстки, кількість та рівень бокових пелюсток, КСД, КВП, фазові характеристики. Випромінювання неперервно розміщених випромінювачів з біжучою хвилею. Коефіцієнт скорочення (сповільнення) хвилі, коефіцієнт загасання, КСД. Оптимальні системи біжучої хвилі, засоби збільшення спрямованих властивостей СБХ.

**Усього годин на вивчення розділу – 18**, у тому числі: аудиторна робота – 6 годин, самостійна робота – 12 годин.

#### **Розділ VII. Антени у вигляді випромінюючих поверхонь (розкривів)**

**Рупорні антени.** Випромінювання відкритого кінця прямокутного та круглого хвилеводів. Секторіальні, пірамідальні та конічні рупорні антени. Розподіл амплітуд та фаз у розкривах рупорів. Діаграми спрямованості. Оптимальні розміри рупорних антен. Узгодження рупорів з хвилеводом та вільним простором. Корекція фаз у розкривах рупорних антен.

**Лінзові антени.** Рівняння профілей прискорюючих та сповільнюючих лінз. Металопластинчасті лінзи. Лінзи із штучного діелектрика. Вибір габаритів. Зонування, Частотні якості. Амплітудний розподіл у розкривах прискорюючих та сповільнюючих лінз. "П'єдестали", КВП, ширина ДС, рівень бокових пелюсток. Методи розрахунку лінзових антен.

Апланатичні лінзи. Лінзи Люнеберга. Допуски на виготовлення лінз. Области застосування..

**Дзеркальні антени.** Принцип дії. Геометричні співвідношення. Методи розрахунку ДС (за густиною струмів та апертурним методом). Перехресна поляризація. КСД, КВП, ККД та КП дзеркальної антени. Опромінювачі дзеркал, вимоги до них. Оптимальна форма ДС опромінювача. Методи керування ДС параболічної антени. Реакція дзеркала на опромінювач та засоби боротьби з нею. Допуски на виготовлення дзеркальних антен. Параболічний циліндр та його електричні параметри. Дводзеркальні антени. Перископічна антена. Рупорно-параболічна антена. Засоби зменшення "вітрильності".

**Усього годин на вивчення розділу – 44**, у тому числі: аудиторна робота – 20 годин (12 годин – лекції, 8 годин – лабораторні роботи), самостійна робота – 24 годин.

#### **Розділ VIII. Щілинні антени**

Застосування принципу подвійності до розрахунку поля випромінювання та вхідної провідності щілини у нескінченному екрані. Щілинні хвилеводні антени. Збудження щілини хвилеводом. Розрахунок опору та провідності щілини, прорізаної у хвилеводі, на основі балансу енергії. Узгодження щілин з хвилеводом. Багатощілинні антени резонансного та нерезонансного типів. ДС багатощілинних антен. Засоби керування ДС та поляризаційною характеристикою хвилеводно-щілинних антен. Области застосування, методи розрахунку.

**Усього годин на вивчення розділу – 17**, у тому числі: аудиторна робота – 8 годин (4 години – лекції, 4 години – лабораторна робота), самостійна робота – 9 години.

## **Розділ IX. Антени біжучої хвилі**

**Директорна антена.** Вимоги для довжини активного та пасивних вібраторів і віддалі між ними. Побудування векторних діаграм складання полів систем "антена – пасивний рефлектор" та "антена – пасивний директор" на основі залежностей власних та наведених опорів від електричної довжини та електричної віддалі. Вхідний опір директорної антени. Шлейф-вібратор Пістолькорса. Трансформуючі та симетруючі пристрої. Достоїнства та недоліки директорних антен.

**Діелектричні стержньові антени.** Принцип дії. Методи збудження. Симетричні та несиметричні хвилі. Розв'язання внутрішньої задачі для симетричних хвиль. Діаграми спрямованості. ДСА з несиметричною хвилею. Другий принцип еквівалентності. Діаграми спрямованості. Вплив загасання на ДС. Багатостержньові антени. ДСА з поперечним випромінюванням. Методи розрахунку.

**Спіральні антени.** Принцип дії. Три режими роботи. Діаграми спрямованості. Електричні параметри. Методи розрахунку ДС, поляризаційної та фазової характеристик регулярної спіралі у режимі  $T_1$ . Конструктивне виконання.

**Усього годин на вивчення розділу – 34**, у тому числі: аудиторна робота – **16** годин (**8** годин – лекції, **8** годин – лабораторні роботи), самостійна робота – **18** годин.

## **Розділ X. Широкодіапазонні антени**

Методи збудування широкодіапазонних антен. Метод взаємодоповнюючих структур. Інші методи. Одно- та двохзаходні спіральні антени. Антени з логарифмічною періодичністю. Використання широкодіапазонних антен у якості опромінювачів дзеркал та лінз.

**Усього годин на вивчення розділу – 5**, у тому числі: аудиторна робота – **2** години, самостійна робота – **3** години.

## **Розділ XI. Мікросмушкові антени**

Випромінювання лінійних мікросмушкових антен (МСА). Огляд методів розрахунку МСА. Стрічкові мікросмушкові вібратори. Розрахунок деяких конструкцій вібраторних МСА. Випромінювання лінійних країв мікросмушкових структур. Щілинні МСА.

Двовимірні смужкові випромінювачі. Визначення. Методи розрахунку. Прямокутні МСА. Дисккові та кільцеві МСА. Деякі спеціальні питання проектування МСА.

**Усього годин на вивчення розділу – 5**, у тому числі: аудиторна робота – **2** години, самостійна робота – **3** години.

## **Розділ XII. Методи гойдання ДС. Фазові антенні ґратки**

Методи гойдання ДС. Гойдання променя шляхом переміщення опромінювача. Дводзеркальні антени з керованою ДС. Інші методи, Електричні методи. Антени з феритовими фазообертачами. Частотний та фазовий методи сканування ДС. Дискретно-комутаційний метод.

**Усього годин на вивчення розділу – 5**, у тому числі: аудиторна робота – **2** години, самостійна робота – **3** години.

## **Розділ XIII. Методи синтезу антен**

Чебишевська апроксимація заданої діаграми. Синтез двовимірної ДС. Синтез круглого розкриття. Синтез лінійних антенних ґраток. Антени з максимальним КСД. Діаграми з мінімальним рівнем бокових пелюсток. Оптимальні ґратки осьового випромінювання.

**Усього годин на вивчення розділу – 5**, у тому числі: аудиторна робота – **2** години, самостійна робота – **3** години.

### **3. Лабораторні роботи**

- Дослідження директорної антени;
- Вимірювання коефіцієнта підсилення рупора методом дзеркального відображення;
- Дослідження хвилеводних та рупорних випромінювачів;
- Дослідження діелектричних стержньових антен;
- Дослідження хвилеводно-щілинних антен;
- Дослідження спіральних антен;
- Дослідження дзеркальної антени;
- Випромінювання розкривів з різними амплітудно-фазовими розподілами.

### **4. Семінари, практичні заняття**

- не передбачені.

### **5. Розрахунково-графічна робота**

„Розрахунок ДС прямокутних розкривів з рівними амплітудно-фазовими розподілами”

### **6. Рекомендована література**

#### **6.1. Основна література**

1. Драбкин А.Л., Зузенко В.Л., Кислов А.Г., Антенно-фидерные устройства. – М.: Сов. Радио, 1974. Б60.
2. Антенны и устройства СВЧ / Под. Ред. Д.И. Воскресенского. – М. : Сов. Радио, 1972. Б50.
3. Айзенберг Г.З. , Ямпольский В.Г. , Терешин О.Н. Антенны УКВ. В 2-х частях. – М.: Связь, 1977. Б20.
4. Жук М.С., Молочков Ю.Б. Проектирование антенно-фидерных устройств. – М.: Энергия , 1966. Б15.
5. Дорохов А.П. Расчет и конструирование АФУ. – Харьков: ХГУ, 1960.Б55.

#### **6.2. Додаткова література**

1. Лавров.А.С., Резников Г.Б. Антенно-фидерные устройства.: М. : Сов. радио, 1974. Б15.
2. Заикин И.П. Антенны СВЧ. ч.4. – Харьков : ХАИ, 1974. Б20.
3. Заїкін І.П., Тоцький О.В. Антени та пристрої НВЧ, у 4-х част. – Харків: ХАІ, 1997. Б20, К35.
4. Заикин И.П., Тоцкий А.В. Антенны и устройства СВЧ, в 2-х частях. – Харьков: ХАИ, 2000. Б20, К50.
5. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ.-М.: Высшая школа,1988. Б15.

### **7. Контрольні питання**

1. Роль та призначення антен при передаванні та прийомі. Класифікація параметрів антен.
2. Дальня зона антени.
3. Діаграма спрямованості антен (ДС). Приклади ДС.
4. Діюча (ефективна) висота антен (ДВ). Геометричний зміст ДВ.
5. Коефіцієнт спрямованої дії (КСД) антени. КСД антени з лінійною та довільною поляризаціями.
6. Коефіцієнт підсилення, частотна та фазова характеристики антени.
7. Поляризаційна характеристика антени (ПХ). Приклади ПХ.
8. Приймальні антени. Параметри приймальних антени. Теорема взаємності.
9. Потужність, яку приймальна антена віддає у навантаження.
10. Діюча площа, апертурний та результуючий КВП антени.
11. Симетричний вібратор (СВ). Розподіл струму та заряду вздовж СВ. Поле випромінювання (СВ). Приклади ДС СВ різної довжини.

12. Опір випромінювання та КСД СВ. Частотні залежності.
13. Еквівалентний хвильовий опір та вхідний опір СВ. Частотні залежності.
14. Антенні еквідістантні лінійні ґратки з неспрямованих випромінювачів.
15. Антенні еквідістантні лінійні ґратки із спрямованих випромінювачів. Правило Бонч – Бруєвича.
16. Комплексні опори системи випромінювачів. Наведені опори. Частотні залежності.
17. Антена ”хвильовий канал”.
18. Трансформуючі та симетруючі пристрої.
19. Вплив ідеально провідної поверхні на випромінювання вертикально – та горизонтально поляризованих антен.
20. Випромінювання прямокутних рівноамплітудних синфазних розкриттів.
21. Випромінювання синфазних розкриттів з косинусним амплітудним розподілом.
22. Випромінювання прямокутних рівноамплітудних лінійно-фазних розкриттів.
23. Випромінювання квадратично-фазних прямокутних розкриттів з косинусними амплітудними розподілами.
24. Випромінювання квадратично-фазних прямокутних рівноамплітудних розкриттів.
25. Випромінювання лінійних систем біжучої хвилі.
26. Випромінювання із відкритого кінця прямокутного хвилеводу. Круглі хвилеводи.
27. Хвилеводні структури. Т-з’єднання у площині Е.
28. Хвилеводні структури. Т-з’єднання у площині Н.
29. Подвійний хвилеводний міст.
30. Кільцевий хвилеводний міст.
31. Механічний фазообертач на основі хвилеводів с хвилею Н10.
32. Рупорні антени. Внутрішня задача для Н-площинного секторіального рупора.
33. Фазовий розподіл у розкритті Н-площинного секторіального рупора.
34. Зовнішня задача для Н-площинного секторіального рупора.
35. Рупорні антени. Е-площинний секторіальний рупор. Внутрішня задача. Фазовий розподіл у розкритті. Зовнішня задача. Оптимальні рупори.
36. Пірамідальний рупор. Внутрішня задача. Зовнішня задача. Засоби зменшення довжини рупора. Оптимальні рупори.
37. Лінзові антени. Металопластинчасті прискорюючі лінзи. Рівняння профілю, товщина. Вибір габаритів прискорюючих лінз.
38. Смуга пропускання прискорюючих лінз, амплітудний розподіл у розкритті, поле випромінювання прискорюючих лінз.
39. Металодіелектричні сповільнюючі лінзи. Рівняння профілю, товщина.
40. Смуга пропускання металодіелектричних лінз. Поле у розкритті і поле випромінювання сповільнюючих лінз.
41. Дзеркальні антени з голчастою та віяльною діаграмами спрямованості. Геометричні параметри.
42. Метод струмів для визначення поля випромінювання дзеркальної антени у вигляді параболоїда обертання.
43. Апертурний метод визначення поля випромінювання дзеркальної антени у вигляді параболоїда обертання.
44. Коефіцієнт спрямованої дії, коефіцієнт використання поверхні, коефіцієнт корисної дії та коефіцієнт підсилення дзеркальної антени.
45. Опромінювачі дзеркальних антен.
46. Реакція дзеркала на опромінювачі та засоби її усунення. Допуски на виготовлення дзеркал.
47. Щілинні антени. Принцип подвійності. Поле випромінювання ідеальної щілинної антени.
48. Вхідні провідність та опір ідеальної щілинної антени.
49. Збудження прямокутного хвилевода щілиною. Метод допоміжних джерел.
50. Збудження щілини хвилеводом. Метод енергетичного балансу.
51. Багатощілинні хвилеводні антени. Методи сканування.
52. Хвилеводний щілинний міст.
53. Спрямований відгалужувач.

54. Хвильоводно-щілинні антени з обертовою поляризацією.
55. Діелектричні стержньові антени. Збудження діелектричного стержня хвилею  $H_{0n}$ .
56. Збудження діелектричного стержня несиметричними хвилями. Перший та другий принципи еквівалентності.
57. Діаграми спрямованості діелектричної стержньової антени. Багатостержньові діелектричні антени.
58. Хвильоводні діелектричні фазообертачі.
59. Спіральні антени. Круглий виток зі стоячою хвилею.
60. Спіральні антени у режимі поперечного, осьового та кінчного випромінювання.
61. Діаграми спрямованості спіральних антен у режимі осьового випромінювання.
62. Методи мініатюризації пристроїв НВЧ та антен.
63. Ширококустові антени.

## **ЧАСТИНА 2. РОЗПОВСЮДЖЕННЯ РАДІОХВИЛЬ**

Всього годин - 100, у т.ч., аудиторна робота – 40, самостійна робота - 60.

### **Розділ 1. Общие вопросы распространения радиоволн**

Назначение и задачи курса. Определение радиоволн, их классификация по диапазонам частот и сферам применения. Упрощенное строение атмосферы и её влияние на распространение радиоволн.

Классификация радиоволн по способу распространения. Распространение радиоволн в свободном пространстве. Понятие о множителе ослабления.

Распространение плоских волн в полупроводящей среде. Отражение плоских волн на границе раздела двух сред (вертикальная поляризация).

Отражение плоских волн на границе раздела двух сред (горизонтальная поляризация). Отражение радиоволн на границе раздела полупроводящих сред. Область пространства, эффективно участвующего в передаче энергии радиоволн.

(Всього годин на вивчення розділу – 40, у тому числі: аудиторна робота студента – 16 годин; самостійна робота – 24 годин).

### **Розділ 2. Распространение земных радиоволн**

Классификация случаев распространения земных радиоволн. Распространение радиоволн над плоской поверхностью Земли при поднятых передающей и приёмной антеннах. Полная интерференционная формула.

Упрощенная интерференционная формула. Интерференционная формула Введенского.

Учет кривизны Земли при пользовании интерференционными формулами. Влияние неровностей отражающей поверхности на коэффициент отражения. Критерий Релея.

Существенная зона отражающей поверхности, играющая основную роль в формировании отраженной волны. Отражение радиоволн от гладкой выпуклой поверхности. Коэффициент расходимости.

(Всього годин на вивчення розділу – 30, у тому числі: аудиторна робота студента – 12 годин; самостійна робота – 18 годин).

### **Розділ 3. Тропосфера и её влияние на распространение радиоволн**

Состав и строение тропосферы. Диэлектрическая проницаемость тропосферы. Рефракция радиоволн в тропосфере. Эквивалентный радиус Земли.

(Всього годин на вивчення розділу – 10, у тому числі: аудиторна робота студента – 4 годин; самостійна робота – 6 години).

### **Розділ 4. Влияние рельефа местности и неоднородностей тропосферы на распространение радиоволн**

Классификация трасс. Расчет множителя ослабления на открытых трассах.

Дифракционное распространение радиоволн вдоль гладкой сферической земной поверхности при однородной тропосфере.

Расчет множителя ослабления на полуоткрытых и закрытых трассах.

Особенности расчета множителя ослабления для трасс с клиновидным препятствием или несколькими препятствиями.

Учет влияния рефракции при расчетах множителя ослабления.

(Всього годин на вивчення розділу – 20, у тому числі: аудиторна робота студента – 8 годин; самостійна робота – 12 годин).

#### **4. Практичні заняття**

1. Определение основных потерь при распространении радиоволн в свободном пространстве. Расчет линий связи с не изменяющимися во времени параметрами.
2. Расчет коэффициента отражения на границе раздела двух сред при горизонтальной и вертикальной поляризации. Определение параметров области пространства, эффективно участвующего в распространении радиоволн.
3. Расчеты напряженности поля в точке приема на основе полной и упрощенной интерференционных формул, а также формулы Введенского.
4. Расчет расстояния прямой видимости и учет кривизны Земли при пользовании интерференционными формулами.
5. Оценка влияния неровностей отражающей поверхности на коэффициент отражения. Критерий Рэлея. Определение параметров зоны отражающей поверхности. Расчет коэффициента расходимости от гладкой выпуклой поверхности.
6. Расчеты и оценка влияния тропосферы на распространение радиоволн.
7. Расчеты величины просвета на профилях трасс. Классификация трасс.
8. Расчеты множителя ослабления на открытых трассах.
9. Расчеты с использованием программного обеспечения по цифровой картографии множителя ослабления на полузакрытых и закрытых трассах.

#### **5. Курсова робота** не передбачена

#### **6. Рекомендована література**

##### 6.1. Основна література

1. Долуханов М.П. Распространение радиоволн. М.; Связь, 1965г.- 400с. Б3.
2. Калинин А. И. Расчет трасс радиорелейных линий. М.; Связь, 1964г- 247с. Б8.
3. Черный Ф. Б. Распространение радиоволн. М.; Сов. Радио, 1962г- 300с. Б25.
4. Грудинская Г. П. Распространение радиоволн. М.; Высшая школа, 1975г.-280с. Б12.

##### 6.2. Додаткова література

1. Калинин А. И. Распространение радиоволн на трассах наземных и космических радиолиний. М.; Связь, 1979г- 296с. Б8.

#### **7. Контрольні питання**

1. Упрощенное строение земной атмосферы и ее влияние на распространение радиоволн.
2. Классификация радиоволн по способу распространения.
3. Распространение прямых волн в свободном пространстве.
4. Потери при распространении радиоволн.
5. Понятие о множителе ослабления.
6. Распространение плоских волн в полупроводящей среде.
7. Отражение плоских волн на границе раздела двух сред (вертикальная поляризация).
8. Отражение плоских волн на границе раздела двух сред (горизонтальная поляризация).
9. Отражение радиоволн волн на границе раздела полупроводящих сред.
10. Область пространства, эффективно участвующая в передаче энергии радиоволны.



11. Классификация случаев распространения земных радиоволн.
12. Полная интерференционная формула.
13. Упрощенная интерференционная формула.
14. Интерференционная формула Введенского.
15. Учёт кривизны Земли при пользовании интерференционными формулами.
16. Влияние неровностей отражающей поверхности на коэффициент отражения. Критерий Релея.
17. Классификация трасс.
18. Расчет множителя ослабления на открытых трассах.
19. Дифракционное распространение волн вдоль гладкой сферической земной поверхности при однородной тропосфере.
20. Расчет множителя ослабления на открытых и полузакрытых трассах.
21. Состав и строение тропосферы, диэлектрическая проницаемость тропосферы.
22. Рефракция радиоволн в тропосфере.
23. Эквивалентный радиус Земли.
24. Особенности расчета множителя ослабления для трасс с несколькими препятствиями.
25. Учёт влияния рефракции при расчетах множителя ослабления.

## **8. Форми та засоби проведення поточного та підсумкового контролю.**

- іспит - усно.

**Програму склали  
доцент кафедри  
доцент кафедри**

**Зайкін І.П.  
Шевелєв В.О.**