

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

---

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова



# **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до самостійної роботи студентів

з дисципліни

**«Системи мобільного зв'язку»**

для студентів денної та заочної форм навчання  
факультету інфокомунікацій

Одеса 2012

УДК 621.396.4

Укладач М.Б. Проценко

Рецензенти: доц. Бойко М.П.,  
старш. викл. Бухан Д.Ю.

Метою методичних вказівок є допомога студентам під час самостійного вивчення теоретичних положень дисципліни «Системи мобільного зв'язку», а також при виконанні індивідуальних завдань та комплексних контрольних робіт.

Методичні вказівки призначені для студентів денної та заочної форм навчання факультету інфокомунікацій.

Методичні вказівки розглянуті та затверджені на засіданні кафедри технічної електродинаміки та систем радіозв'язку  
(протокол № 9 від 8 червня 2012 р.)

Редактор – *Терземан В.В.*

Коп'ютерне редагування та макетування – *Кірдогло Т.В.*

## ЗМІСТ

1	Загальна характеристика дисципліни	4
2	Мета вивчення дисципліни	4
3	Зміст дисципліни	5
3.1	Модуль 1. Функціональні пристрої радіоканалу систем мобільного зв'язку	5
3.1.1	Структура залікового модуля 1	5
3.1.2	Зміст залікового модуля 1	6
3.1.3	Перелік лабораторних робіт модуля 1	7
3.1.4	Контрольні питання до заліку модуля 1	7
3.1.5	Перелік тем індивідуальних завдань модуля 1	9
3.2	Модуль 2. Принципи побудови систем і мереж мобільного зв'язку	10
3.2.1	Структура залікового модуля 2	10
3.2.2	Зміст залікового модуля 2	10
3.2.3	Теми практичних занять модуля 2	12
3.2.4	Перелік лабораторних робіт модуля 2	12
3.2.5	Контрольні питання до заліку модуля 2	12
3.3	Модуль 3. Особливості побудови й експлуатації сучасних систем мобільного зв'язку	14
3.3.1	Структура залікового модуля 3	14
3.3.2	Зміст залікового модуля 3	14
3.3.3	Теми практичних занять модуля 3	16
3.3.4	Перелік лабораторних робіт модуля 3	16
3.3.5	Контрольні питання до заліку модуля 3	16
4	Завдання до комплексних контрольних робіт	18
4.1	Вимоги до виконання комплексних контрольних робіт	18
4.2	Завдання комплексної контрольної роботи модуля 1	19
4.3	Завдання комплексної контрольної роботи модуля 2	19
4.4	Завдання комплексної контрольної роботи модуля 3	21
5	Методичні рекомендації до виконання завдань комплексних контрольних робіт	22
6	Методи оцінювання та критерії оцінок	29
6.1	Порядок проведення заліку	30
6.2	Порядок проведення іспиту	30
6.3	Критерії оцінок	31
7	Рекомендована література	32
7.1	Основна література	32
7.2	Додаткова література	34
	Додаток А. Таблиця Ерланга (Ерланг В)	35

## 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛІНИ

Дисципліна «Системи мобільного зв'язку» (СМЗ) є нормативною дисципліною ППП.Н.13 циклу професійної та практичної підготовки студентів напряму 6.050903 – Телекомунікації.

Дисципліна СМЗ передбачає наявність у студентів знань і вмінь, які здобули студенти при вивченні таких нормативних дисциплін як «Теорія електричних кіл та сигналів», «Основи схемотехніки», «Технічна електродинаміка», «Теорія електричного зв'язку», «Телекомунікаційні системи передачі», «Телекомунікаційні та інформаційні мережі».

Загальна характеристика дисципліни: кількість кредитів ECTS – **7,5**; модулів – **3**; змістових модулів – **9**; загальна кількість годин – **270**, у тому числі: лекції – **50** год.; лабораторні заняття – **40** год.; практичні заняття – **16** год.; самостійна та індивідуальна робота – **164** год.; семестри: 3.4; 4.1 та 4.2, вид контролю: семестровий контроль перших двох модулів – накопичувальний залік, третього модуля – іспит. Розподіл годин на окремі види занять по семестрах (лекції, лабораторні та практичні заняття, індивідуальна та самостійна робота) визначається робочим навчальним планом і закріплюється робочими навчальними програмами – технологічними картами дисципліни.

## 2 МЕТА ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Метою дисципліни СМЗ є вивчення принципів побудови систем і мереж мобільного зв'язку, принципів їх роботи та методик проектування.

У результаті вивчення дисципліни студенти повинні знати: сучасні та перспективні напрямки розвитку мереж і систем мобільного зв'язку; принципи побудови систем мобільного зв'язку різних типів і розподілу інформації в мережах мобільного зв'язку; особливості розповсюдження сигналів по радіоканалах систем мобільного зв'язку; принципи роботи, технічні характеристики і конструктивні особливості засобів мобільного зв'язку, що розробляються і використовуються; схемотехніку функціональних пристроїв мобільного зв'язку; методи технічної експлуатації систем і пристроїв мобільного зв'язку; методи теоретичних і експериментальних досліджень пристроїв і систем мобільного зв'язку; основи проектування систем і мереж мобільного зв'язку; вимоги стандартизації, метрологічного забезпечення при розробці та експлуатації пристроїв і систем мобільного зв'язку.

У результаті вивчення дисципліни студенти повинні вміти застосовувати: методи проектування засобів мобільного зв'язку з техніко-економічним обґрунтуванням прийнятих рішень; правила і норми проектування, експлуатації систем мобільного зв'язку; методи оцінки параметрів засобів мобільного зв'язку; методи технічного контролю і діагностики в процесі настройки і експлуатації пристроїв і систем мобільного зв'язку; теоретичні й експериментальні методи дослідження з метою створення нових перспективних пристроїв і систем мобі-

льного зв'язку; технічні рішення з підвищення якості передавання інформації та зниження небезпечних впливів, що заважають здійснення зв'язку у системах мобільного зв'язку.

### 3 ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ

Дисципліна викладається у трьох залікових модулях, кожен з яких має завершену структуру та включає вивчення теоретичних розділів і підрозділів (лекцій), виконання розрахунково-графічних завдань на практичних заняттях, лабораторного практикуму, комплексної контрольної роботи.

#### 3.1 Модуль 1. Функціональні пристрої радіоканалу систем мобільного зв'язку

##### 3.1.1 Структура залікового модуля 1

Таблиця 3.1 – Розподіл часу за видами занять

<b>Змістові модулі (2,5 кредити; 90 год.)</b>	<b>ЛК (год.)</b>	<b>ПЗ (год.)</b>	<b>ЛЗ (год.)</b>	<b>СР та ІНР (год.)</b>
T1.1 Принципи та пристрої формування модульованих сигналів у системах мобільного зв'язку	8	–	4	54
T1.2 Принципи та пристрої прийому та обробки сигналів у системах мобільного зв'язку	4	–	2	
T1.3 Антенні пристрої радіосистем мобільного зв'язку	6	–	2	
<b>Разом 1 модуль, год.</b>	<b>18</b>	<b>–</b>	<b>8</b>	<b>54</b>
<i>Примітка.</i> Т – тема (змістовий модуль); ЛК – лекція; ПЗ – практичне заняття; ЛЗ – лабораторне заняття; СР – самостійна робота; ІНР – індивідуальна робота.				

Таблиця 3.2 – Розподіл часу на виконання індивідуальних завдань та самостійної роботи студентів

<b>№ з/п</b>	<b>Види роботи</b>	<b>Кількість годин</b>
1	Проробка лекцій	9
2	Вивчення додаткового матеріалу до лекцій	17
3	Підготовка до практичних занять	–
4	Підготовка до лабораторних робіт	12
5	Виконання комплексного завдання	10
6	Інші види робіт (підготовка до заліку)	6
	<b>Усього:</b>	<b>54</b>

### **3.1.2 Зміст залікового модуля 1**

#### ***T1.1 Принципи та пристрої формування модульованих сигналів у системах мобільного зв'язку***

ЛК1.1 Мета і завдання модуля, короткий зміст. Основні визначення: служби і види радіозв'язку, радіочастотний ресурс, радіоканал, радіостанція, радіолінія, радіомережа, система радіозв'язку. Класифікація систем і мереж мобільного зв'язку. Функціональна схема радіоканалу, апаратні засоби мобільного зв'язку.

ЛК1.2 Структурні схеми радіопередавачів, їх основні параметри і характеристики (помилка встановлення частоти, потужність несучої частоти, ефективна випромінювана потужність, потужність передавача у сусідньому каналі, побічні випромінювання, придушення інтермодуляційних випромінювань тощо), особливості побудови радіопередавачів радіостанцій мобільного зв'язку, сучасні методи проектування радіопередавачів.

ЛК1.3 Принципи функціонування, схемотехнічні рішення і методи розрахунку вузлів передавача, призначених для генерування і перетворення частоти радіосигналу.

ЛК1.4 Принципи функціонування, схемотехнічні рішення та методи розрахунку вузлів радіопередавача, призначених для модуляції та підсилення радіосигналів. Методи вимірювання параметрів і характеристик радіопередавачів радіостанцій мобільного зв'язку.

Рекомендована література: [3, стор.29-31; 151-187; стор.335-345]; [4, стор.59-79]; [6, стор.631-649]; [8, стор.24-29]; [10, стор.249-259]; [12, стор.23-26]; [13, стор.12-19]; [14, стор.27-57; стор.57-91; 236-319].

#### ***T1.2 Принципи та пристрої прийому та обробки сигналів у системах мобільного зв'язку***

ЛК1.5 Структурні схеми, основні технічні параметри і характеристики радіоприймачів (чутливість, динамічний діапазон, вибірковість по сусідньому і дзеркальному каналах, інтермодуляційна вибірковість тощо); особливості побудови радіоприймачів у різних системах мобільного радіозв'язку; основи проектування радіоприймачів різного призначення за заданими показниками.

ЛК1.6 Принципи функціонування, схемотехнічні рішення і методи розрахунку вузлів радіоприймача, призначених для підсилення, фільтрації, перетворення частоти і демодуляції сигналів. Методи вимірювання параметрів і характеристик радіоприймачів радіостанцій мобільного радіозв'язку.

Рекомендована література: [3, стор.345-352, 223-226; 151-187]; [4, стор.80-91]; [10, стор.249-259]; [14, стор.57-91, 236-319].

### ***T1.3 Антенні пристрої радіосистем мобільного зв'язку***

ЛК1.7 Основні типи спрямованих антен та елементів антенно-фідерного тракту, що використовуються у системах мобільного радіозв'язку; фазовані антенні решітки; основи теорії антенних решіток.

ЛК1.8 Основні типи слабкоспрямованих антен абонентських терміналів, методи мініатюризації антен; основи теорії приймальних антен; шумова температура антен.

ЛК1.9 Антени базових станцій систем мобільного зв'язку та абонентських терміналів (основні характеристики і конструктивні особливості).

Рекомендована література: [4, стор.35-58]; [7, стор.58-247]; [14, стор.91-112]; [15, стор.74-244].

#### **3.1.3 Перелік лабораторних робіт модуля 1**

ЛЗ1.1 Дослідження функціональних вузлів та основних характеристик приймопередавача стандарту GSM.

ЛЗ1.2 Дослідження принципів побудови та характеристик антен базових станцій мобільного зв'язку.

#### **3.1.4 Контрольні питання до заліку модуля 1**

1.1 Наведіть класифікацію служб радіозв'язку. Поясніть основні види радіозв'язку.

1.2 Сформулюйте визначення: радіочастотний ресурс; радіочастотний спектр. Наведіть класифікацію діапазонів радіочастот і радіохвиль.

1.3 Сформулюйте визначення: радіолінія; радіоканал; радіостанція; радіомережа; система радіозв'язку.

1.4 Зобразіть функціональну схему радіоканалу, поясніть основні апаратні засоби мобільного зв'язку.

1.5 Назвіть основні ознаки для класифікації систем і мереж мобільного зв'язку.

1.6 Сформулюйте методи формування радіосигналів та види схем побудови радіоприймальних пристроїв. Поясніть переваги та недоліки супергетеродинного радіоприймача.

1.7 Зобразіть функціональну схему супергетеродинного радіоприймача, поясніть шляхи проходження сигналів і призначення елементів цієї схеми.

1.8 Зобразіть функціональну схему супергомодинного радіоприймача (радіоприймача з прямим перетворенням частоти), поясніть шляхи проходження сигналів і призначення елементів цієї схеми.

1.9 Зобразіть функціональну схему радіоприймача з цифровою обробкою сигналів, поясніть шляхи проходження сигналів і призначення елементів цієї схеми.

1.10 Назвіть основні параметри і характеристики радіопередавального тракту радіостанції системи мобільного зв'язку, поясніть такі параметри як помилка встановлення частоти, нестабільність частоти передавача, потужність несучої частоти (на навантаженні).

1.11 Назвіть основні параметри і характеристики радіопередавального тракту радіостанції системи мобільного зв'язку, поясніть такі параметри як потужність передавача у сусідньому каналі, побічні випромінювання передавача.

1.12 Назвіть основні параметри і характеристики радіоприймального тракту радіостанції мобільного зв'язку, поясніть такі параметри як чутливість радіоприймача; величина помилок при великому вхідному сигналі. Як підвищити чутливість радіоприймача?

1.13 Назвіть основні параметри і характеристики радіоприймального тракту радіостанції мобільного зв'язку, поясніть такі параметри як чутливість радіоприймача; величина помилок при великому вхідному сигналі. Від чого залежить і як визначається динамічний діапазон радіоприймача?

1.14 Назвіть основні параметри і характеристики радіоприймального тракту радіостанції мобільного зв'язку, поясніть такі параметри як придушення внутрішньоканальної завади; вибірковість по сусідньому каналу; вибірковість по побічних каналах прийому. Якими пристроями визначаються вибірковість по сусідньому каналу; вибірковість по побічних каналах прийому?

1.15 Назвіть основні параметри і характеристики радіоприймального тракту радіостанції мобільного зв'язку, поясніть такі параметри як інтермодуляційна вибірковість; блокування; побічне випромінювання. Від чого залежить інтермодуляційна вибірковість приймача?

1.16 Для чого призначений синтезатор частоти, поясніть основні типи синтезаторів частоти.

1.17 Зобразіть структурну схему синтезатора частоти на основі ФАПЧ з цілочисельним коефіцієнтом ділення та поясніть принцип його роботи.

1.18 Зобразіть структурну схему синтезатора частоти на основі ФАПЧ з дробово-змінним коефіцієнтом ділення та поясніть принцип його роботи.

1.19 Зобразіть спрощену структурну схему синтезатора DDS, поясніть використані позначення та особливості роботи. Сформулюйте та поясніть основні переваги й недоліки синтезаторів DDS.

1.20 Зобразіть схематичне позначення змішувача. Поясніть позначення портів змішувача. Назвіть і поясніть основні параметри змішувачів.

1.21 Сформулюйте загальний принцип роботи змішувача на основі еквівалентної схеми небалансного змішувача.

1.22 Назвіть типи змішувачів. Зобразіть схему одного з типів балансних змішувачів та поясніть її особливості.

1.23 Назвіть типи змішувачів. Поясніть особливості балансного змішувача з накачуванням на субгармоніці вихідної частоти та змішувачів на гармоніках.

1.24 Зобразіть структурну схему антенно-фідерного тракту базової станції мобільного зв'язку, поясніть елементи що входять в її склад, їх призначення.

1.25 Назвіть основні типи антен базових станцій мобільного зв'язку. Поясніть принцип побудови колінеарних і панельних антен.



1.26 Запишіть основні формули для визначення поля випромінювання антенної решітки. Сформулюйте теорему перемножування діаграм спрямованості.

1.27 За яких умов формується режим поперечного випромінювання антенної решітки? Запишіть і поясніть інженерну формулу для визначення ширини головної пелюстки діаграми спрямованості антени.

1.28 За яких умов формується режим похилого випромінювання антенної решітки. Запишіть і поясніть інженерну формулу для визначення напрямку головної пелюстки діаграми спрямованості антени.

1.29 Поясніть поняття коефіцієнта спрямованої дії антени. Запишіть інженерну формулу для розрахунку коефіцієнта спрямованої дії антенної решітки.

1.30 Зобразіть та поясніть еквівалентну схему антени мобільного терміналу в режимі прийому, запишіть та поясніть формулу еквівалентної ЕРС приймальної антени.

1.31 Запишіть та поясніть формулу для розрахунку потужності на вході радіоприймача з урахуванням коефіцієнта узгодження приймальної антени.

1.32 Поясніть поняття «діюча довжина приймальної антени».

1.33 Назвіть та поясніть методи мініатюризації антен мобільних терміналів.

1.34 Наведіть приклади слабкоспрямованих антен мобільних терміналів. Вкажіть їх конструктивні особливості й основні характеристики.

### **3.1.5 Перелік тем індивідуальних завдань модуля 1**

1.1 Однокристальні приймачі радіостанцій систем мобільного зв'язку (функціональна схема, принцип роботи, схеми підключення до антени з використанням зовнішніх і внутрішніх ланцюгів комутації режимів прийому/передачі).

1.2 Опис функціональної (принципової) схеми приймально-передавального тракту мобільного телефону.

1.3 Параметри приймального (передавального) тракту мобільного телефону.

1.4 Методи та засоби вимірювання:

- чутливості радіоприймача;
- імовірності помилок при великому входному сигналі (або динамічного діапазону приймача);
- придушення внутрішньоканальних завад;
- вибіркості по сусідньому каналу;
- вибіркості по побічних каналах прийому;
- інтермодуляційної вибіркості;
- побічних випромінювань.

1.5 Призначення, особливості побудови і функціонування, конструктивні особливості одного з елементів антенно-фідерного тракту:

- дільник (суматор) потужності;
- смуговий суматор (дуплексер);
- грозозрядник.

1.6 Принцип побудови, функціонування та конструктивні особливості антенної системи у вигляді:

- скануючої антенної решітки;
- багатопроменевої антенної решітки;
- антенної решітки з обробкою сигналів.

1.7 Основи теорії електрично малих антен (антен мобільних терміналів).

1.8 Приклади функціонально малих та фізично малих антен.

1.9 Принцип побудови, конструкція та характеристики антени мобільного телефону

1.10 Принцип побудови, конструкція та характеристики однієї з антен:

- циліндричної спіральної антени;
- мікросмужкової антени;
- діелектричної стрижньової антени;
- фрактальної антени.

1.11 Компоненти синтезаторів частоти з ФАПЧ: генератори, що керуються напругою, фазові дискримінатори тощо.

1.12 Функціональні вузли на основі змішувачів (модулятор/демодулятор, фазовий/частотний дискримінатор, множник/дільник частоти).

## 3.2 Модуль 2. Принципи побудови систем і мереж мобільного зв'язку

### 3.2.1 Структура залікового модуля 2

Таблиця 3.3 – Розподіл часу за видами занять

<b>Змістові модулі (2,5 кредита; 90 год.)</b>	<b>ЛК (год.)</b>	<b>ПЗ (год.)</b>	<b>ЛЗ (год.)</b>	<b>СР та ІНР (год.)</b>
T2.1 Моделі розповсюдження радіосигналів, які використовуються під час проектування систем мобільного зв'язку	6	6	4	50
T2.2 Електромагнітна сумісність у системах мобільного зв'язку	2	–	–	
T2.3 Принципи побудови систем мобільного зв'язку зі стільниковою структурою	8	2	12	
<b>Разом 2 модуль, год.</b>	<b>16</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>50</b>
<i>Примітка.</i> Т – тема (змістовий модуль); ЛК – лекція; ПЗ – практичне заняття; ЛЗ – лабораторне заняття; СР – самостійна робота; ІНР – індивідуальна робота.				

Таблиця 3.4 – Розподіл часу на виконання індивідуальних завдань та самостійної роботи студентів

№ з/п	Види роботи	Кількість годин
1	Проробка лекцій	8
2	Вивчення додаткового матеріалу до лекцій	6
3	Підготовка до практичного заняття	4
4	Підготовка до лабораторної роботи	16
5	Виконання комплексного завдання	10
6	Інші види робіт (підготовка до заліку)	6
	<b>Усього:</b>	<b>50</b>

### 3.2.2 Зміст залікового модуля 2

#### *T2.1 Моделі розповсюдження радіосигналів, які використовуються під час проектування систем мобільного зв'язку*

ЛК2.1 Мета і задачі модуля, короткий зміст. Методи розрахунку напруженості електромагнітного поля у різних умовах. Розрахунок напруженості поля і потужності на вході приймача при поширенні радіохвиль у вільному просторі. Перше рівняння передачі.

ЛК2.2 Особливості поширення радіохвиль в умовах міської забудови. Явище багатопроблемності. Статистичний підхід до розрахунку рівня сигналу на вході приймача. Завмирання, їх класифікація та причини виникнення. Статистичні характеристики завмирань.

ЛК2.3 Використання двопроблемної моделі поширення радіохвиль. Моделі поширення радіохвиль, що рекомендовані МСЕ-Р для розрахунку рівня сигналу в умовах міської та приміської забудови: Лі, Окамури-Хата та Уолфіша-Ікегамі.

Рекомендована література: [1, стор.37-40, 42-54]; [2, стор.201-242]; [3, стор.188-222]; [5, стор.82-107]; [8, стор.127-129]; [10, стор.245-276]; [11, стор.165-263]; [20, стор.52-56]; [22, стор.19-28].

#### *T2.2 Електромагнітна сумісність у системах мобільного зв'язку*

ЛК2.4 Основні визначення, що стосуються електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів. Джерела та класифікація взаємних завад. Організаційні та технічні методи роз'яснення задач електромагнітної сумісності. Сутність задачі частотного планування.

Рекомендована література: [1, стор.40-42]; [2, стор.242-249]; [5, стор.195-198]; [10, стор.112-121]; [13, стор.17-19, 191-216]; [20, стор.56-64].

### ***Т2.3 Принципи побудови систем мобільного зв'язку зі стільниковою структурою***

ЛК2.5 Стільниковий принцип організації зв'язку. Частотно-територіальний розподіл каналів у системах зв'язку зі стільниковою структурою. Поняття комірки, кластера, захисної відстані. Визначення припустимої розмірності кластера. Внутрішньосистемні завади, їх походження і методи зменшення.

ЛК2.6 Попередній розрахунок основних параметрів мереж мобільного зв'язку. Визначення навантаження на мережу, максимально припустимого радіуса комірки і числа комірок у мережі.

ЛК2.7 Розрахунок відношення сигнал/внутрішньосистемна завада та визначення мінімально припустимої розмірності кластера.

ЛК2.8 Принципи частотно-територіального планування в мережах стільникового зв'язку. Фіксований і динамічний розподіл каналів між комірками стільникової мережі. Перспективні способи частотно-територіального планування в мережах рухомого радіозв'язку зі стільниковою структурою.

Рекомендована література: [1, стор. 26-29; 67-73]; [2, стор.250-300]; [3, стор. 373-387]; [5, стор.47-81; 108-195]; [8, стор.135-147]; [10, стор.277-292]; [12, стор. 141-150]; [13, стор.120-135, 216-239]; [20, стор.198-230]; [22, стор.86-98]; [23, стор.35-40].

### **3.2.3 Теми практичних занять модуля 2**

ПЗ2.1 Розрахунок потужності сигналу на вході приймача з використанням детерміністських моделей поширення радіохвиль. Діаграма рівнів.

ПЗ2.2 Розрахунок запасу на завмирання у системах фіксованого та мобільного зв'язку.

ПЗ2.3 Вивчення методики розрахунку санітарно-захисних зон поблизу антен базових станцій мобільного зв'язку.

ПЗ2.4 Семінарське заняття з електромагнітної сумісності, основних методів, термінології, реалізації.

ПЗ2.5 Розрахунок основних параметрів мереж мобільного зв'язку.

### **3.2.4 Перелік лабораторних робіт модуля 2**

ЛЗ2.1 Вивчення особливостей розрахунку параметрів радіосигналу у системах мобільного зв'язку.

ЛЗ2.2 Вивчення статистичних характеристик сигналу, який підданий завмиранням.

ЛЗ2.3 Вивчення особливостей частотного планування у системах фіксованого і мобільного зв'язку.

ЛЗ2.4 Визначення припустимого значення розмірності кластера у системах мобільного зв'язку зі стільниковою структурою.

### 3.2.5 Контрольні питання модуля 2

- 2.1 Які є особливості в організації мереж зв'язку з радіально-зоною топологією?
- 2.2 Сформулюйте принцип побудови територіальних систем зі стільниковою структурою.
- 2.3 Поясніть поняття: зона покриття, зона обслуговування.
- 2.4 Поясніть поняття: комірка (чарунка), стільник, кластер, захисна відстань.
- 2.5 Як визначається допустима розмірність кластера?
- 2.6 Поясніть походження внутрішньосистемних завад. Які бувають види внутрішньосистемних завад?
- 2.7 Які існують методи зменшення внутрішньосистемних завад? У чому їх суть?
- 2.8 Запишіть перше рівняння передачі та поясніть його складові.
- 2.9 Що таке множник ослаблення? Від чого він залежить?
- 2.10 У чому суть двопроменевої моделі поширення радіохвиль? За яких умов вона може використовуватися?
- 2.11 Що таке атмосферна рефракція? Як вона впливає на поширення радіохвиль?
- 2.12 Що таке дифракція радіохвиль? У чому суть дифракційної моделі поширення радіохвиль?
- 2.13 Поясніть явище багатопроменевого поширення радіохвиль. Як впливає багатопроменеве поширення радіохвиль на якість приймання радіосигналів?
- 2.14 Що таке завмирання? Назвіть основні причини їх виникнення.
- 2.15 За якими ознаками класифікують завмирання?
- 2.16 Назвіть статистичні характеристики завмирань.
- 2.17 Як визначити медіанне значення напруженості поля сигналу за наявності завмирань?
- 2.18 Як визначити частоту, період і глибину завмирань?
- 2.19 Поясніть поняття медіанної потужності сигналу на вході приймача.
- 2.20 Назвіть моделі поширення радіохвиль для розрахунку рівня сигналу на великих відстанях. Які вхідні дані в них використовуються?
- 2.21 Назвіть моделі поширення радіохвиль для розрахунку рівня сигналу на малих відстанях? Які вхідні дані в них використовуються?
- 2.22 Що таке електромагнітна сумісність радіоелектронних засобів?
- 2.23 Поясніть класифікацію електромагнітних завад.
- 2.24 Назвіть і поясніть етапи вирішення проблеми електромагнітної сумісності.
- 2.25 Поясніть поняття: необхідна ширина смуги частот, контрольна ширина смуги частот, основне випромінювання, небажане випромінювання.
- 2.26 Поясніть поняття: позасмугові випромінювання, побічні випромінювання. Назвіть види побічного випромінювання.
- 2.27 Назвіть методи забезпечення електромагнітної сумісності? У чому їх суть?

2.28 Поясніть поняття: розподіл, виділення та присвоєння частот.

2.29 Поясніть призначення частотного планування.

2.30 Назвіть сучасні технічні методи забезпечення електромагнітної сумісності.

2.31 Поясніть принцип фіксованого розподілу каналів.

2.32 Які переваги та недоліки застосування фіксованого розподілу каналів у системах стільникового зв'язку?

2.33 Від чого залежить телефонне навантаження у системах мобільного зв'язку?

2.34 У чому полягає принцип динамічного розподілу каналів в системах стільникового зв'язку?

2.35 Які переваги та недоліки застосування динамічного розподілу каналів у системах стільникового зв'язку?

### 3.3 Модуль 3. Особливості побудови й експлуатації сучасних систем мобільного зв'язку

#### 3.3.1 Структура залікового модуля 3

Таблиця 3.5 – Розподіл часу за видами занять

<b>Змістові модулі (2,5 кредита; 90 год.)</b>	<b>ЛК (год.)</b>	<b>ПЗ (год.)</b>	<b>ЛЗ (год.)</b>	<b>СР та ІНР (год.)</b>
ТЗ.1 Система стільникового зв'язку стандарту GSM	8	2	6	50
ТЗ.2 Система транкінгового зв'язку стандарту TETRA	2	–	2	
ТЗ.3 Принципи роботи й особливості побудови мереж стільникового зв'язку з кодовим розподілом каналів	6	6	8	
<b>Разом 2 модуль, год.</b>	<b>16</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>50</b>
<i>Примітка.</i> Т – тема (змістовий модуль); ЛК – лекція; ПЗ – практичне заняття; ЛЗ – лабораторне заняття; СР – самостійна робота; ІНР – індивідуальна робота.				

Таблиця 3.6 – Розподіл часу на виконання індивідуальних завдань та самостійної роботи студентів

<b>№ з/п</b>	<b>Види роботи</b>	<b>Кількість годин</b>
1	Проробка лекцій	8
2	Вивчення додаткового матеріалу до лекцій	6
3	Підготовка до практичного заняття	4
4	Підготовка до лабораторної роботи	16
5	Виконання комплексного завдання	10
6	Інші види робіт (підготовка до іспиту)	16
	<b>Усього:</b>	<b>60</b>

### **3.3.2 Зміст залікового модуля 3**

#### ***Т3.1 Система стільникового зв'язку стандарту GSM***

ЛК3.1 Архітектура і топологія сучасних мереж мобільного зв'язку. Склад обладнання та структурна схема його взаємодії в мережах стільникового зв'язку GSM. Призначення елементів мережі, їх основні функції.

ЛК3.2 Інтерфейси між пристроями, що входять до складу мережі мобільного зв'язку GSM. Швидкість передавання даних на різних ділянках мережі. Організація радіоінтерфейсу: частотний план у стандартах GSM і EGSM, організація фізичних каналів.

ЛК3.3 Організація логічних каналів у стандарті GSM. Класифікація і призначення логічних каналів. Організація логічних каналів трафіка TCH/F і TCH/ЖК3.4 Організація передавання логічних каналів керування у стандарті GSM. Структура мультикадру каналу керування. Структура кадрів у мережах GSM. Призначення різних типів кадрів. Обмеження максимальної дальності зв'язку в GSM.

Рекомендована література: [1, стор. 6-12, 29-36, 84-87, 164-181]; [2, стор. 13-45, 301-337]; [3, стор. 29-37, 411-414]; [4, стор.411-436; 626-639]; [8, стор.19-83]; [12, стор. 9-21, 28-59; 64-80, 101-105]; [13, стор.41-120]; [16, стор.12-25, 115-148]; [17, стор.10-46; 63-70]; [18]; [20, стор.38-52, 64-73; 83-91]; [21, стор. 5-13, 46-52]; [22, стор. 13-18, 28-30, 43-53]; [23, стор. 11-30].

#### ***Т3.2 Система транкінгового зв'язку стандарту TETRA***

ЛК3.5 Призначення і класифікація транкінгових систем зв'язку. Система транкінгового зв'язку TETRA: особливості побудови, склад обладнання, структурна схема взаємодії вузлів. Організація радіоінтерфейсу: частотний план, модуляція, фізичні та логічні канали.

Рекомендована література: [1, стор. 15-19]; [2, стор 338-344]; [3, стор.399-410]; [4, стор.447-465]; [5, стор. 35-46]; [8, стор. 171-173]; [12, стор.188-247]; [16, стор.198-215].

#### ***Т3.3 Принципи роботи та особливості побудови мереж стільникового зв'язку з кодовим розподілом каналів***

ЛК3.6 Основи організації кодового розділення каналів. Принцип побудови каналоутворюючої апаратури. Синхронне кодове розділення з використанням функцій Уолша. Сутність та властивості функцій Уолша, отримання їх за допомогою матриць Адамара.

ЛК3.7 Асинхронне кодове розділення з використанням  $m$ -послідовностей. Генерація  $m$ -послідовностей за допомогою регістру зсуву. Основні пристрої та

вузли, що входять до складу мережі стільникового зв'язку стандарту IS-95, їх призначення та функції. Особливості частотно-територіальної організації мереж з кодовим розділенням каналів.

ЛК3.8 Організація радіоінтерфейсу у системах мобільного зв'язку з кодовим розділенням каналів. Частотний план, організація фізичних та логічних каналів. Перехід до систем зв'язку третього та четвертого покоління.

Рекомендована література: [1, стор. 73-84, 182-220, 221-254]; [2, стор.420-438]; [3, стор.415-421]; [4, стор.608-625]; [5, стор.22-25]; [9, стор.18-208]; [10, стор. 6-111, 293-324]; [11]; [12, стор. 80-82, 151-154]; [16, стор. 149-172]; [17, стор. 80-213]; [19, стор. 134-167]; [21, стор. 52-57]; [22, стор. 82-85]; [23, стор. 41-68].

### **3.3.3 Теми практичних занять модуля 3**

ПЗ3.1 Вивчення архітектури систем стільникового зв'язку GSM.

ПЗ3.2 Вивчення фізичних і логічних каналів GSM.

ПЗ3.3 Особливості формування CDMA-сигналів шляхом прямого розширення спектра.

ПЗ3.4 Вивчення архітектури систем стільникового зв'язку з кодовим розділенням каналів.

### **3.3.4 Перелік лабораторних робіт модуля 3**

ЛЗ3.1 Вивчення архітектури систем стільникового зв'язку стандарту GSM.

ЛЗ3.2 Вивчення і настроювання базової станції стандарту CDMA 2000.

ЛЗ3.3 Вивчення мобільних терміналів стандарту CDMA 2000.

ЛЗ3.4 Дослідження завадостійкості систем з CDMA за різних способів кодування сигналу.

### **3.3.5 Контрольні питання модуля 3**

3.1 Назвіть основні ознаки для класифікації мереж мобільного зв'язку.

3.2 Зобразіть структурну схему сучасної мережі мобільного зв'язку і вкажіть її елементи. На які підсистеми ділиться сучасна мережа мобільного зв'язку?

3.3 Назвіть основні функції мобільної та базової станцій у складі мережі мобільного зв'язку.

3.4 Назвіть функції контролера базових станцій, контролера радіоінтерфейсу та контролера пакетів.

3.5 Поясніть призначення транскодера та центру комутації. Які основні функції центру комутації в мережах стільникового зв'язку?

3.6 Поясніть призначення та функції вузлів, що входять до складу підсистеми GPRS.

3.7 Опишіть особливості мереж стільникового зв'язку. Назвіть стандарти стільникового зв'язку.



3.8 Опишіть особливості мереж транкінгового зв'язку. Назвіть стандарти транкінгового зв'язку.

3.9 Що таке внутрішні інтерфейси GSM? Для чого вони використовуються? Наведіть приклади внутрішніх інтерфейсів.

3.10 Що таке зовнішні інтерфейси GSM? Для чого вони використовуються? Наведіть приклади зовнішніх інтерфейсів.

3.11 Зобразіть і поясніть частотний план стандарту GSM-900. Що таке TDMA-кадр?

3.12 Що таке логічний канал? Поясніть призначення широкомовних каналів управління у стандарті GSM.

3.13 Що таке логічний канал? Поясніть призначення загальних каналів управління в стандарті GSM.

3.14 Поясніть формування повношвидкісних (full-rate) каналів трафіка у стандарті GSM. Що таке мультикадр і для чого він потрібний?

3.15 Поясніть формування напівшвидкісних (half-rate) каналів трафіка у стандарті GSM. Що таке мультикадр, і для чого він потрібний?

3.16 Як організуються логічні канали управління у стандарті GSM? Що таке мультикадр каналу управління і для чого він потрібний?

3.17 Які існують види пакетів у стандарті GSM? Поясніть призначення нормального пакета, зобразіть його структуру.

3.18 Поясніть причину, за якої максимальний радіус комірки в GSM обмежений.

3.18 Поясніть принцип кодового розділення каналів.

3.19 Чим відрізняється синхронне та асинхронне кодове розділення каналів? Які послідовності, що розширюють сигнал, використовуються в кожному з цих випадків?

3.20 Що таке функції Уолша? Які їх основні властивості?

3.21 Поясніть спосіб отримання функцій Уолша за допомогою матриць Адамара.

3.22 Поясніть процес формування  $m$ -послідовностей за допомогою регістру зсуву.

3.23 Зобразіть та поясніть частотний план у стандарті IS-95.

3.24 Які логічні канали організуються в стандарті IS-95? Яка їх кількість і призначення?

3.25 Що таке прямий і зворотний канал CDMA? Які логічні канали передаються в прямому та зворотному каналі?

3.26 Які види естафетної передачі реалізуються у системах з кодовим розділенням каналів? Поясніть суть кожного з них.

3.27 Для чого необхідне управління потужністю у зворотному каналі систем зв'язку з CDMA? Чому в прямому каналі ця задача менш актуальна?

3.28 За якими ознаками класифікують транкінгові системи зв'язку?

3.29 Зобразіть і поясніть архітектуру мереж транкінгового зв'язку стандарту TETRA.

3.30 Поясніть організацію фізичних каналів у стандарті TETRA.

3.31 Які логічні канали організуються у стандарті TETRA? Яке їх призна-

чення? Які види пакетів застосовуються для передачі даних у стандарті TETRA?

3.32 Зобразіть та поясніть структурну схему архітектури мережі UMTS. Що входить в поняття «базова мережа»? Які мережі радіодоступу підтримуються в UMTS?

3.33 У чому полягають основні особливості технології WCDMA? Що таке чипова швидкість передавання?

3.34 Які види каналів організовуються у мережі UMTS? Яке їх призначення?

## 4 ЗАВДАННЯ ДО КОМПЛЕКСНИХ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ

### 4.1 Вимоги до виконання комплексних контрольних робіт

Комплексні контрольні роботи виконуються у звичайному зошиті, який повинен бути охайно оформлений. Для зауважень викладача на кожній сторінці залишаються поля шириною 3...4 см. Усі сторінки нумеруються. На обкладинці зошита вказуються: прізвище, ім'я, по батькові студента; номер групи; шифр (номер залікової книжки); назва дисципліни.

Варіант вихідних даних вибирається відповідно до двох останніх цифр у номері залікової книжки студента:  $m$  — передостання цифра;  $n$  — остання, або за порядковим номером у списку групи (задається викладачем).

Текстова частина комплексного контрольного завдання, а також рисунки та графіки, виконання яких потрібне згідно з завданням, повинні бути виконані охайно (наприклад, з використанням текстового та графічного редакторів на персональному комп'ютері). Графіки допускається креслити на міліметровці з вказівкою по осях розмірності.

Розрахункові формули повинні наводитися у тексті роботи в загальному вигляді з поясненням літерних позначень. Розрахунки необхідно виконувати з точністю до трьох значущих цифр.

У кінці розрахункового завдання вказується використана література (назва підрозділу «Перелік посилань»). При цьому він повинен бути складений відповідно до державного стандарту.

Комплексні контрольні роботи повинні бути підписані автором.

Типові помилки, що допускаються студентами при виконанні розрахункових завдань:

- використання різних систем одиниць;
- неправильне використання та переклад одиниць (наприклад, дБ);
- невірне позначення розмірності обчислюваних величин;
- арифметичні помилки в розрахунках.

## 4.2 Завдання комплексної контрольної роботи модуля 1

- 1) Вивчіть теоретичні положення (див. 3.1.2), використовуючи конспект лекцій і рекомендовану літературу.
- 2) Підготуйте письмово обґрунтовану й аргументовану відповідь на контрольне питання (див. 3.1.4). Номер питання визначається за порядковим номером у списку групи (або задається викладачем).
- 3) Розв'яжіть задачу.

**Задача 1.1** Визначіть необхідний коефіцієнт підсилення (КП) антени базової станції мобільного зв'язку  $G_{\text{АН}}$  при заданій дальності  $D$  та заданому запасі на завмирання  $L_{\text{завм}}$ .

Таблиця 4.1 – Вихідні дані до задачі 1.1

$n$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$D$ , км	17,2	17,5	17,9	18,2	18,9	19,4	20,0	20,6	21,2	21,8
$m$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$L_{\text{завм}}$ , дБ	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5

де  $P_{\text{вд}} = -77$  дБм;  $P_{\text{вд}} = 5$  Вт (або 37 дБм);  $G_{\text{АН}} = 0$  дБі;  $L_{\text{АН}} = 2$  дБ;  $L_{\text{АН}} = 1$  дБ;  $\lambda = 0,324$  м ( $f_{\text{н}} = 925$  МГц – середня частота діапазону 890...960 МГц);  $m, n$  – передостання та остання цифри номера залікової книжки.

## 4.3 Завдання комплексної контрольної роботи модуля 2

- 1) Вивчіть теоретичні положення (див. 3.2.2), використовуючи конспект лекцій і рекомендовану літературу.
- 2) Підготуйте письмово обґрунтовану й аргументовану відповідь на контрольне питання (див. 3.2.5). Номер питання визначається за порядковим номером у списку групи (або задається викладачем).
- 3) Розв'яжіть задачі.

**Задача 2.1** Розрахуйте потужність сигналу на вході приймача мобільної станції (МС), якщо потужність передавача базової станції (БС)  $P$ , відстань до МС  $D$ , коефіцієнт підсилення антени (КП) БС  $G_{\text{АН}}$ , частота несучої  $f$ . Вплив Землі та атмосфери, втрати потужності в антенно-фідерних трактах не враховувати. Антена МС – неспрямована. Побудувати діаграму рівнів.

Таблиця 4.2 – Вихідні дані до задачі 2.1

$n$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P$ , Вт	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15
$D$ , км	0,8	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8
$m$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$G_{\text{АН}}$ , дБ	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5

де  $f = 950$  МГц – частота несучої;  $m, n$  – передостання та остання цифри номера залікової книжки.

**Задача 2.2** В системі мобільного зв'язку потужність передавача БС  $P$ , чутливість приймача МС  $P_{\text{min}}$ , КП антени БС  $G_{\text{АН}}$ , робоча частота  $f$ . Розрахувати максимальну відстань, на якій можливе якісне приймання сигналів МС від БС, вважаючи, що поширення радіохвиль відбувається у вільному просторі. Втрати потужності в антенно-фідерних трактах не враховувати. Антена МС – неспрямована.

Таблиця 4.3 – Вихідні дані до задачі 2.2

$n$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P$ , Вт	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15
$P_{\text{min}}$ , дБм	-76	-78	-80	-82	-84	-86	-90	-92	-94	-96
$m$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$G_{\text{АН}}$ , дБ	8	8,5	9	9,4	10,2	10,5	11	11,5	12	12,5

де  $f = 2440$  МГц – робоча частота;  $m, n$  – передостання та остання цифри номера залікової книжки.

**Задача 2.3** Радіорелейна лінія на одному з інтервалів характеризується такими параметрами: потужність передавача  $P$ , чутливість приймача  $P_{\text{min}}$ , КП антен  $G_1 = G_2 = G$ , довжина прольоту  $D$ , робоча частота  $f$ . Визначити наявний запас на завмирання. Вплив землі та атмосфери, втрати потужності в антенно-фідерних трактах не враховувати.

Таблиця 4.4 – Вихідні дані до задачі 2.3

$n$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P, \text{Вт}$	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15
$P_{\min}, \text{дБм}$	-74	-76	-78	-82	-84	-86	-90	-92	-94	-96
$m$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$G, \text{дБ}$	20	21	22	23	24	25	26	28	29	30

де  $f = 25 \text{ ГГц}$  – робоча частота;  $D = 35 \text{ км}$  – довжина інтервалу;  $m, n$  – передостання та остання цифри номера залікової книжки.

#### 4.4 Завдання комплексної контрольної роботи модуля 3

1) Вивчіть теоретичні положення (див. 3.3.2), використовуючи конспект лекцій і рекомендовану літературу.

2) Підготуйте письмово обґрунтовану й аргументовану відповідь на контрольне питання (див. 3.3.5). Номер питання визначається за порядковим номером у списку групи (або задається викладачем).

3) Розв'яжіть задачу.

**Задача 3.1** Розрахуйте максимально допустимий радіус комірки в мережі стільникового зв'язку стандарту GSM при таких вихідних даних: площа території –  $S_0 \text{ км}^2$ ; кількість абонентів –  $N_{\text{аб}}$ .

Таблиця 4.5 – Вихідні дані до задачі 3.1

$n$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$S_0, \text{км}^2$	300	330	360	390	420	440	480	510	540	570
$m$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$N_{\text{аб}}, \text{тис}$	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38

де  $\beta = 0,02 \text{ Ерл}$  – середнє навантаження, що створюється одним абонентом;  $P_{\text{відмови}} = 1 \%$  – припустима ймовірність відмови;  $N_{\text{нс}} = 3$  – кількість несучих в одній комірці;  $m, n$  – передостання та остання цифри номера залікової книжки.

## 5 МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ КОМПЛЕКСНИХ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ

**Методичні рекомендації до розв'язання задачі 1.1.** Потужність сигналу на вході приймача абонентської станції мобільного зв'язку визначається відповідно до виразу

$$P_{\text{âõ Ñ}} = \frac{P_{\text{âõ Ñ}} G_{\text{Ñ}} G_{\text{Ñ}}}{L_{\text{Ñ}} L_{\text{Ñ}} L_{\text{â³}} L_{\text{çâî}}}, \quad (5.1)$$

де  $P_{\text{âõ Ñ}}$ ,  $P_{\text{âõ Ñ}}$  – потужності сигналу на виході передавача базової станції та на вході приймача абонентської станції мобільного зв'язку відповідно, Вт або мВт;

$G_{\text{Ñ}}$ ,  $G_{\text{Ñ}}$  – коефіцієнти підсилення (КП) антен базової й абонентської станцій мобільного зв'язку відповідно (безрозмірні величини);

$L_{\text{Ñ}}$ ,  $L_{\text{Ñ}}$  – послаблення сигналу за рахунок втрат в антенно-фідерних трактах базової й абонентської станцій мобільного зв'язку відповідно (безрозмірні величини);

$L_{\text{â³}}$  – послаблення сигналу, зумовлене згасанням при розповсюдженні у вільному просторі (безрозмірна величина);

$L_{\text{çâî}}$  – послаблення сигналу, зумовлене впливом відмінностей траси розповсюдження від вільного простору (безрозмірна величина). Цей множник враховує також вплив завмирань.

У логарифмічному вигляді формулу (5.1) можна записати так:

$$P_{\text{âõ Ñ}} = P_{\text{âõ Ñ}} + G_{\text{Ñ}} + G_{\text{Ñ}} - L_{\text{Ñ}} - L_{\text{Ñ}} - L_{\text{â³}} - L_{\text{çâî}}, \quad (5.2)$$

де  $P_{\text{âõ Ñ}}$ ,  $P_{\text{âõ Ñ}}$  – визначено у дБВт (або дБм);

$G_{\text{Ñ}}$ ,  $G_{\text{Ñ}}$  – у дБі (розмірність дБі означає, що КП визначено відносно ізотропного випромінювача);  $L_{\text{Ñ}}$ ,  $L_{\text{Ñ}}$ ,  $L_{\text{â³}}$ ,  $L_{\text{çâî}}$  – у дБ.

Переведення одиниць вимірювання у дБ та навпаки здійснюється за формулами:

$$P, \text{ äÁ} = 10 \lg \left( \frac{P, \text{ Ñ}}{1 \text{ Ñ}} \right); \quad P, \text{ Ñ} = 10 \lg \left( \frac{P, \text{ äÁ}}{1 \text{ äÁ}} \right);$$

$$P, \text{ äÁ} = P, \text{ Ñ} - 30 \quad \text{та} \quad P, \text{ Ñ} = P, \text{ äÁ} - 30$$

$$P, \text{ Ñ} = 10^{\frac{P, \text{ äÁ}}{10}}; \quad P, \text{ äÁ} = 10^{\frac{P, \text{ Ñ}}{10}};$$

$$G, \text{ äÁ}^3 = 10 \lg \left( \frac{G}{G_i} \right) \quad \text{та} \quad G = 10^{\frac{G, \text{ äÁ}^3}{10}},$$

де  $G_i = 1$  – КП ізотропного випромінювача.

Для обчислення потрібного КП антени базової станції мобільного зв'язку  $G_{\text{АН}}$  у разях відповідно до формули (5.1) можна скористатися виразом

$$G_{\text{АН}} = \frac{P_{\text{âõ ÌÑ}} L_{\text{АН}} L_{\text{АН}} L_{\text{â³ë}} L_{\text{çââî}}}{P_{\text{âèõ ÁÑ}} G_{\text{АН}}}, \quad (5.3)$$

або для визначення  $G_{\text{АН}}$  у дБ відповідно до формули (5.2) виразом

$$G_{\text{АН}} = P_{\text{âõ ÌÑ}} - P_{\text{âèõ ÁÑ}} - G_{\text{АН}} + L_{\text{АН}} + L_{\text{АН}} + L_{\text{â³ë}} + L_{\text{çââî}}. \quad (5.4)$$

Числові значення  $P_{\text{âõ ÌÑ}}$ ,  $P_{\text{âèõ ÁÑ}}$ ,  $G_{\text{АН}}$ ,  $L_{\text{АН}}$ ,  $L_{\text{АН}}$  задані для усіх варіантів однаковими. Чисельне значення  $L_{\text{çââî}}$  вибирається з табл. 4.1 «Вихідні дані до задачі 1.1» відповідно до варіанта.

Для обчислення  $L_{\text{â³ë}}$  можна скористатися формулами

$$L_{\text{â³ë}} = \left( \frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2 \quad \text{або} \quad L_{\text{â³ë}}, \text{ äÁ} = 10 \lg \left( \frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2 = 20 \lg \left( \frac{4\pi D}{\lambda} \right), \quad (5.5)$$

де  $D$  – максимальна дальність дії базової станції мобільного зв'язку;  
 $\lambda$  – довжина електромагнітної хвилі.

Числові значення  $D$  вибирається також з табл. 4.1 «Вихідні дані до задачі 1.1» відповідно до варіанта. Чисельне значення  $\lambda$  задано для всіх варіантів однаковим.

При розрахунку  $L_{\text{â³ë}}$  відповідно до (5.5) значення  $D$  і  $\lambda$  необхідно привести до єдиних одиниць вимірювання.

**Методичні рекомендації до розв'язання задачі 2.1.** Для розрахунку потужності сигналу на вході приймача мобільної станції треба скористатися першим рівнянням передачі для радіолінії БС → МС.

$$P_{\text{îð ÌÑ}} = P_{\text{îäð ÁÑ}} G_{\text{АН}} G_{\text{ИÑ}} \eta_{\text{ô ÁÑ}} \eta_{\text{ô ÌÑ}} \left( \frac{\lambda}{4\pi D} \right)^2 V^2, \quad (5.6)$$

де  $P_{\text{îð ÌÑ}}$  – потужність сигналу на вході приймача МС, Вт;

$P_{\text{îäð ÁÑ}}$  – потужність сигналу на виході передавача БС, Вт;

$G_{\text{АН}}$  – КП антени БС, у разях;

$G_{\text{ИÑ}}$  – КП антени МС, у разях;

$\eta_{\text{ô ÁÑ}}$  – ККД антенно-фідерного тракту антени БС, у долях одиниці;

$\eta_{\text{ô ÌÑ}}$  – ККД антенно-фідерного тракту антени МС, у долях одиниці;

$\lambda$  – робоча довжина хвилі, м;

$D$  – відстань між антенами БС та МС, м;

$V$  – множник послаблення у середовищі поширення радіохвиль, у разях.

Оскільки МС має неспрямовану антену, КП антени МС дорівнює  $G_{\text{МН}} = 1$  або  $G_{\text{МН}} = 0$  дБ.

Оскільки впливом Землі та атмосфери нехтуємо, множник послаблення у середовищі розповсюдження радіохвиль дорівнює  $V = 1$  або  $V = 0$  дБ.

Оскільки припускаємо, що в антенно-фідерних трактах БС та МС втрати відсутні, то  $\eta_{\delta \text{ АН}} = \eta_{\delta \text{ МН}} = 1$  (100 %), або 0 дБ.

**Приклад розрахунку.** Нехай задані такі вихідні дані: потужність передавача БС  $P_{\text{іао АН}} = 10$  Вт, відстань до МС  $D = 1$  км, КП антени БС  $G_{\text{АН}} = 13$  дБ, частота несучої  $f = 950$  МГц.

**Розв’язання.** Знайдемо значення всіх величин, що входять до рівняння (5.6):

1)  $D = 1$  км = 1000 м;

2)  $G_{\text{АН}} = 13$  дБ, або  $G_{\text{АН}} = 10^{0,1 \cdot 13} = 20$ ;

3)  $\lambda = c/f$ ;  $\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{950 \cdot 10^6} = 0,316$  м;

4)  $G_{\text{МН}} = 1$ , оскільки антена МС – неспрямована;

5)  $\eta_{\delta \text{ АН}} = \eta_{\delta \text{ МН}} = 1$ , оскільки вважаємо, що в антенно-фідерних трактах БС і МС втрати відсутні;

6)  $V = 1$ , оскільки впливом землі й атмосфери нехтуємо.

Підставляючи отримані значення до рівняння (5.6), отримаємо:

$$P_{\text{іо МН}} = 10 \cdot 20 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \left( \frac{0,316}{4 \cdot \pi \cdot 1000} \right)^2 \cdot 1^2 = 1,26 \cdot 10^{-7} \text{ Вт},$$

або 
$$P_{\text{іо МН}} = 10 \lg \left( \frac{1,26 \cdot 10^{-7}}{1} \right) = -69,0 \text{ дБВт} = -39,0 \text{ дБм}.$$

**Відповідь.** Потужність сигналу на вході приймача МС дорівнює  $P_{\text{іо МН}} = 1,26 \cdot 10^{-7}$  Вт або  $P_{\text{іо МН}} = -39,0$  дБм.

Діаграма рівнів зображена на рис. 5.1. Початкове значення ломаної лінії відповідає потужності сигналу на виході передавача БС, яка дорівнює  $P_{\text{іао АН}} = 10$  Вт або  $P_{\text{іао АН}} = 40$  дБм.



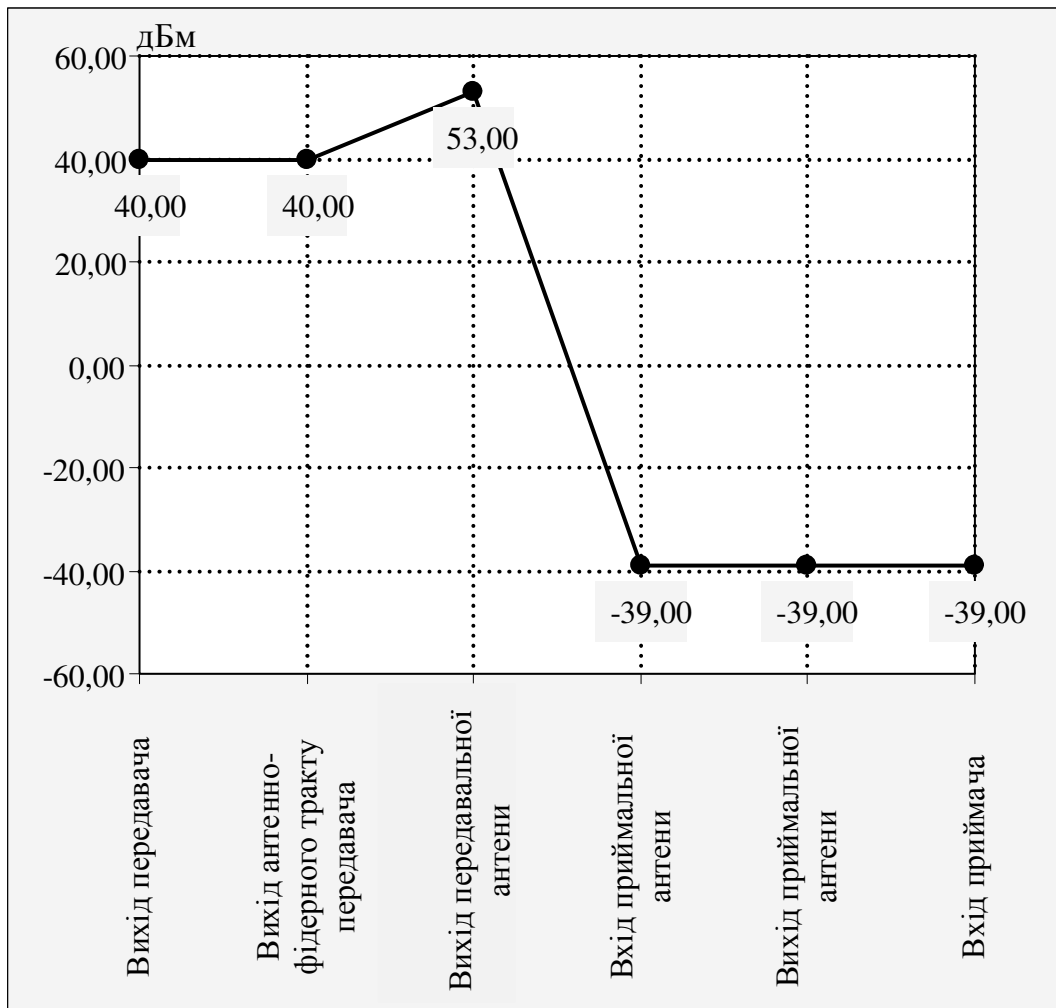


Рисунок 5.1 – Діаграма рівнів

**Методичні рекомендації до розв'язання задачі 2.2.** Чутливість радіоприймача – це найменша потужність сигналу на його вході, при якій забезпечуються задані показники якості. Очевидно, що найменша можлива потужність сигналу на вході приймача буде спостерігатись при найбільшому віддаленні приймача і передавача один від одного, тобто  $P_{i\delta} \text{ і } i\tilde{N} = P_{\min}$  при  $D = D_{\max}$  (якщо розповсюдження хвиль відбувається у вільному просторі).

Для розв'язання цієї задачі скористаємося першим рівнянням передачі для радіолінії БС → МС (5.6).

Перетворимо рівняння передачі (5.6) так, щоб виразити  $D$ :

$$P_{i\delta} \text{ і } i\tilde{N} = P_{i\delta\delta} \tilde{A}\tilde{N} G_{\tilde{A}\tilde{N}} G_{i\tilde{N}} \eta_{\delta} \tilde{A}\tilde{N} \eta_{\delta} \text{ і } i\tilde{N} \left( \frac{\lambda}{4\pi D_{\max}} \right)^2 V^2 = P_{\min},$$

$$\frac{\lambda}{4\pi D_{\max}} = \sqrt{\frac{P_{\min}}{P_{i\delta\delta} \tilde{A}\tilde{N} G_{\tilde{A}\tilde{N}} G_{i\tilde{N}} \eta_{\delta} \tilde{A}\tilde{N} \eta_{\delta} \text{ і } i\tilde{N} V^2}},$$

$$D_{\max} = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{\text{ia}\delta} \text{ \AA}\tilde{N}}{P_{\min}} G_{\text{A}\tilde{N}} G_{\text{i}\tilde{N}} \eta_{\delta} \text{ \AA}\tilde{N} \eta_{\delta} \text{ i}\tilde{N}} V^2}. \quad (5.7)$$

**Приклад розрахунку.** Нехай задані такі вихідні дані: потужність передавача БС  $P_{\text{ia}\delta} \text{ \AA}\tilde{N} = 5$  Вт; чутливість приймача мобільної станції  $P_{\text{i}\delta} \text{ i}\tilde{N} = P_{\min} = -85$  дБм; КП антени БС  $G_{\text{A}\tilde{N}} = 10$  дБ; робоча частота  $f = 2440$  МГц.

**Розв'язання.** Визначимо значення усіх величин, що входять до рівняння (5.7).

1)  $P_{\min} = 10^{0,1 \cdot (-85)} = 3,16 \cdot 10^{-9}$  мВт =  $3,16 \cdot 10^{-12}$  Вт.

2)  $G_{\text{A}\tilde{N}} = 10$  дБ, або  $G_{\text{A}\tilde{N}} = 10^{0,1 \cdot 10} = 10$ .

3)  $\lambda = c/f$ ;  $\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{2440 \cdot 10^6} = 0,123$  м.

4)  $G_{\text{i}\tilde{N}} = 1$ , оскільки антена МС – не спрямована.

5)  $\eta_{\delta} \text{ \AA}\tilde{N} = \eta_{\delta} \text{ i}\tilde{N} = 1$ , оскільки вважаємо, що в антенно-фідерних трактах БС і МС втрати відсутні.

6)  $V = 1$ , оскільки впливом Землі й атмосфери нехтуємо.

Підставляючи отримані значення у рівняння (5.7), отримаємо:

$$D_{\max} = \frac{0,123}{4 \cdot \pi} \sqrt{\frac{5}{3,16 \cdot 10^{-12}} \cdot 10 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1^2} = 38950 \text{ м} = 38,9 \text{ км}.$$

**Відповідь.** Максимальна відстань, на якій можливе якісне приймання МС сигналів від БС, дорівнює  $D_{\max} = 38,9$  км.

**Методичні рекомендації до розв'язання задачі 2.3.** Запас на завмирання  $L_{\text{çàâi}}$  – це відношення потужності сигналу на вході приймача до його чутливості  $P_{\min}$ , або в логарифмічних одиницях вимірювання – це різниця потужності сигналу на вході приймача, що виражена, наприклад, у дБм, до його чутливості  $P_{\min}$ , що також виражена у дБм.

Для визначення потужності сигналу на вході приймача також можна скористатися першим рівнянням передачі (5.6) для одного інтервалу радіорелейної лінії, відповідно до якого

$$P_2 = P_1 G_1 G_2 \eta_1 \eta_2 \left( \frac{\lambda}{4\pi D} \right)^2 V^2, \quad (5.8)$$

де  $P_1$  – потужність сигналу на виході передавача однієї з радіорелейних станцій (РРЛС), Вт;

$P_2$  – потужність сигналу на вході приймача іншої РРЛС, Вт;

$G_1$  – коефіцієнт підсилення антени першої РРЛС, у разях;

$G_2$  – коефіцієнт підсилення антени другої РРЛС, у разях;

$\eta_1$  – ККД антенно-фідерного тракту першої РРЛС, у долях одиниці;

$\eta_2$  – ККД антенно-фідерного тракту другої РРЛС, у долях одиниці;

$\lambda$  – робоча довжина хвилі, м;

$D$  – відстань між антенами РРЛС, м;

$V$  – множник послаблення у середовищі поширення радіохвиль, у разях.

Відповідно до цих позначень, запас на завмирання  $L_{\text{за}}^{\text{дБ}}$  дорівнює

$$L_{\text{за}}^{\text{дБ}} = P_2 / P_{\text{min}}, \quad \text{або} \quad L_{\text{за}}^{\text{дБ}} = P_2, \text{ дБМ} - P_{\text{min}}, \text{ дБМ}.$$

**Приклад розрахунку.** Нехай задані такі вихідні дані: потужність передавача першої РРЛС  $P = 10$  Вт; чутливість приймача другої РРЛС  $P_{\text{min}} = -80$  дБМ; КП антени першої та другої РРЛС  $G_1 = G_2 = G = 27$  дБ; довжина інтервалу  $D = 35$  км; робоча частота  $f = 25$  ГГц.

**Розв’язання.** Знайдемо значення усіх величин, що входять до рівняння (5.8).

1)  $G_1 = G_2 = G = 27$  дБ, або  $G = 10^{0,1 \cdot 27} = 500$ .

2)  $D = 35$  км = 35000 м.

3)  $\lambda = c/f$ ;  $\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{25 \cdot 10^9} = 0,012$  м.

4)  $\eta_1 = \eta_2 = 1$ , оскільки вважаємо, що в антенно-фідерних трактах БС і МС втрати відсутні.

5)  $V = 1$ , оскільки впливом Землі й атмосфери нехтуємо.

Підставляючи отримані значення до рівняння (5.8), отримаємо

$$P_2 = 10 \cdot 500 \cdot 500 \cdot 1 \cdot 1 \left( \frac{0,012}{4\pi \cdot 35000} \right)^2 \cdot 1^2 = 1,86 \cdot 10^{-9} \text{ Вт},$$

або 
$$P_2 = 10 \cdot \lg \left( \frac{1,86 \cdot 10^{-9}}{1} \right) = -87,3 \text{ дБВт} = -57,3 \text{ дБМ}.$$

Таким чином, запас на завмирання дорівнює

$$L_{\text{за}}^{\text{дБ}} = -57,3 - (-80) = 22,7 \text{ дБ}.$$

**Відповідь.** Запас на завмирання дорівнює  $L_{\text{за}}^{\text{дБ}} = 22,7$  дБ.

**Методичні рекомендації до розв'язання задачі 3.1.** Для розрахунку максимально припустимого радіуса комірки  $R$  у мережі стільникового зв'язку необхідно знати площу  $S_c$  однієї комірки. Якщо комірка має форму шестикутника, то її площа дорівнює

$$S_c = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2,$$

звідки

$$R^2 = \frac{2S_c}{3\sqrt{3}} \quad \text{або} \quad R = \sqrt{\frac{2S_c}{3\sqrt{3}}}.$$

Площу  $S_c$  однієї комірки можна обчислити на основі відомої площі території  $S_0$  та кількості комірок  $N_c$  у всій мережі відповідно до виразу

$$S_c = S_0 / N_c.$$

Кількість комірок у всій мережі  $N_c$  визначається як відношення навантаження на всю мережу  $A_0$  до навантаження на одну комірку  $A_c$

$$N_c = A_0 / A_c.$$

Навантаження на всю мережу можна визначити як добуток середнього навантаження  $\beta$ , що створюється одним абонентом, на кількість абонентів  $N_{аб}$

$$A_0 = \beta \cdot N_{аб}.$$

Для визначення навантаження на одну комірку  $A_c$  необхідно скористатися таблицею Ерланга (див. Додаток А), з якої значення  $A_c$  визначається на основі заданого значення ймовірності відмови в обслуговуванні  $p_{відм}$  та кількості каналів трафіка  $N_{ркс}$  в одній комірці.

Кількість каналів трафіка (розмовних каналів) в одній комірці можна обчислити відповідно до заданої кількості несучих в одній комірці  $N_{нс}$  та кількості каналів трафіка на одній несучій  $N_{рkn}$ . Для стандарту GSM  $N_{рkn} = 8$  (вважаємо, що використовуються повношвидкісні (full-rate) канали трафіка):

$$N_{ркс} = N_{нс} \cdot N_{рkn}.$$

**Приклад розрахунку.** Нехай площа території, яка призначена для охоплення мережею GSM –  $S_0 = 450 \text{ км}^2$ ; передбачувана кількість абонентів –  $N_{аб} = 25000$ ; допустима ймовірність відмови –  $P_{відм} = 1 \%$ ; середнє навантаження, створюване одним абонентом –  $\beta = 0,02$  Ерл; кількість несучих в одній комірці –  $N_{нс} = 3$ .

**Розв'язання.** Знаходимо навантаження на всю мережу, згідно з заданим значенням середнього навантаження  $\beta$ , що створюється одним абонентом, і кі-

лькістю абонентів  $N_{аб}$

$$A_0 = \beta \cdot N_{аб}; \quad A_0 = 0,02 \cdot 25000 = 500 \text{ Ерл.}$$

Знаходимо кількість каналів трафіка (розмовних каналів) в одній комірці відповідно до заданої кількості несучих в одній комірці  $N_{нс}$  та кількості каналів трафіка на одній несучій  $N_{ркн}$ . Для стандарту GSM  $N_{ркн} = 8$  (вважаємо, що використовуються повношвидкісні (full-rate) канали трафіка)

$$N_{ркс} = N_{нс} \cdot N_{ркн}; \quad N_{ркс} = 3 \cdot 8 = 24.$$

За допомогою таблиці Ерланга (див. Додаток А) знаходимо навантаження, яке зможуть пропустити 24 канали трафіку, відповідно до заданого значення допустимої ймовірності відмови в обслуговуванні  $P_{зай} = 1\%$ . У результаті отримаємо

$$A_c = 15,3 \text{ Ерл.}$$

Знаходимо орієнтовну кількість комірок у всій мережі, знаючи навантаження на одну комірку  $A_c$  і навантаження на всю мережу  $A_0$

$$N_c^* = A_0 / A_c, \quad N_c^* = 500 / 15,3 = 32,7.$$

Враховуючи, що кількість комірок повинна бути цілим числом, округлюємо отриманий результат до більшого цілого значення

$$N_c = 33.$$

Знаходимо площу однієї комірки  $S_c$ , відповідно до заданого значення площі території  $S_0$ , призначеної для охоплення мережею GSM, та орієнтовною кількістю комірок  $N_c$  у всій мережі

$$S_c = S_0 / N_c, \quad S_c = 450 / 33 = 13,6 \text{ км}^2.$$

Знаходимо радіус комірки. Припустивши, що комірка має форму шестикутника, отримаємо

$$R = \sqrt{\frac{2S_c}{3\sqrt{3}}}, \quad R = \sqrt{\frac{2 \cdot 13,6}{3\sqrt{3}}} = 2,29 \text{ км.}$$

**Відповідь.** Максимально припустимий радіус комірки дорівнює  $R = 2,29$  км.

## 6 МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНОК

Поточний контроль знань і вмінь студентів оцінюється на лабораторно-практичних заняттях, зокрема, за наслідками виконання комплексних контрольних робіт і захисту протоколів виконання лабораторних робіт.

Модульний контроль для студентів денної форми навчання здійснюється по завершенню модулів у вигляді накопичувального заліку після завершення першого і другого модулів та іспиту – після завершення третього модуля.

Підсумковий контроль для студентів заочної форми навчання здійснюється по завершенню модулів у вигляді іспиту.

### 6.1 Порядок проведення заліку

Допуском до заліку є виконання всіх комплексних контрольних робіт та захист всіх протоколів виконаних лабораторних робіт.

Залік здійснюється за наведеною нижче схемою:

1) Студент був присутній і активно працював на всіх лабораторно-практичних заняттях, лекціях.

Залік виставляється автоматично.

2) Студент пропустив більш ніж одну лекцію та відновив конспект лекцій (переписав весь пропущений матеріал).

Залік виставляється після успішної співбесіди з лектором по кожній пропущеній лекції.

3) Студент пропустив більш ніж одну лекцію та не відновив конспект лекцій.

Залік виставляється на підставі задовільних відповідей на контрольні питання (питання до заліку).

4) Можливе сумісне ухвалення заліку лектором і викладачем, що проводив лабораторно-практичні заняття.

Білету до заліку складаються з трьох питань.

### 6.2 Порядок проведення іспиту

Допуском до іспиту є виконання всіх комплексних контрольних робіт та захист всіх протоколів виконаних лабораторних робіт.

Напередодні іспиту проводиться передекзаменаційна консультація.

Іспит здійснюється за наведеною нижче схемою:

1) Студент отримує екзаменаційний білет та 15...20 хвилин готується до відповіді.

2) Студент усно або письмово відповідає на питання екзаменаційного білету, а також на додаткові та уточнюючі питання екзаменатора.

- 3) Екзаменатор оголошує та, за необхідності, аргументує виставлену оцінку.
- 4) Можливе сумісне ухвалення іспиту лектором та викладачем, що проводив лабораторно-практичні заняття.

Екзаменаційні білети складаються з двох питань та задачі.

### 6.3 Критерії оцінок

Основні критерії оцінювання відповідей студентів на іспиті (заліку):

- 1) правильність відповідей на запитання (вірне, чітке та достатньо глибоке викладання ідей, понять, фактів тощо);
- 2) повнота й одночасно лаконічність відповіді;
- 3) новизна інформації, ступінь використання наукових і нормативних документів;
- 4) уміння пов'язувати теорію з практикою, творчо застосовувати знання до неординарних ситуацій;
- 5) логічне та аргументоване викладання;
- 6) грамотне коментування, використання прикладів та аналогій;
- 7) культура мови.

Це означає, що викладач оцінює як знання предмету (зміст), так і форму викладання їх студентом.

Оцінювання знань і вмінь студентів проводиться за шкалою ESNS та/або національною шкалою (5 бал.) та шкалою ОНАЗ ім. О.С. Попова (100 бал.)

Таблиця 6.1 – Критерії оцінки

Національна Шкала (5 бал.)	Шкала ОНАЗ (100 бал.)	Шкала ESNS	Визначення
1	2	3	4
5 (відмінно)	90...100	A	ВІДМІННО – відмінне виконання, лише з незначною кількістю помилок Запитання розкриті достатньо повно і правильно. Бездоганне знання базової термінології, уміння розкрити зміст термінів і понять.
4 (добре)	82...89	B	ДУЖЕ ДОБРЕ – вище середнього рівня з кількома помилками Запитання розкриті повно та правильно. Бездоганне знання базової термінології. Проте є окремі дефекти логіки та змісту відповідей.

Продовження таблиці 6.1 – Критерії оцінки

1	2	3	4
4 (добре)	74...81	C	ДОБРЕ – в загальному правильна робота з незначною кількістю грубих помилок Питання розкриті достатньо повно та правильно. За знання базової термінології зауважень немає.
3 (задовільно)	64...73	D	ЗАДОВІЛЬНО – непогано але зі значною кількістю недоліків Відповіді на питання надані в цілому правильно, проте є ряд серйозних дефектів логіки та змісту відповідей, що не дозволяє поставити оцінку «добре». Базова термінологія засвоєна добре.
	60...63	E	ДОСТАТНЬО – виконання задовольняє мінімальні критерії Відповіді на питання надані в цілому правильно, проте неповно. Логіка відповідей недостатньо добре збудована. Пропущений ряд важливих деталей або, навпаки, у відповіді зачіпаються сторонні питання. Базова термінологія в цілому засвоєна.
2 (незадовільно)	35...59	FX	НЕЗАДОВІЛЬНО з можливістю повторного складання – потрібно попрацювати перед тим, як отримати позитивну оцінку Окремі фрагментарні правильні думки, але в знаннях є істотні пропуски і курс в цілому не засвоєний.
	0...34	F	НЕЗАДОВІЛЬНО з обов'язковим повторним вивченням дисципліни – необхідна серйозна подальша робота Знання з предмету відсутні або той, що іспитується, не знає до кінця жодного запитання, плутається в основних базових поняттях, не в змозі розкрити зміст основних термінів і понять.



## 7 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

### 7.1 Основна література

1 Системы мобильной связи: учеб. пособ. для вузов / [В.П. Ипатов, В.К. Орлов, И.М. Самойлов, В.Н. Смирнов]; под ред. В.П. Ипатова. – М.: Горячая линия–Телеком, 2003. – 272 с.

2 Маковеева М.М. Системы связи с подвижными объектами: учеб. пособ. для вузов / М.М. Маковеева, Ю.С. Шинаков. – М.: Радио и связь, 2002. – 440 с.

3 Галкин В.А. Цифровая мобильная связь: учеб. пособ. для вузов / В.А. Галкин. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 432 с.

4 Телекоммуникационные системы и сети: учеб. пособ. в 3-х томах. –Т.2 – Радиосвязь, радиовещание, телевидение / [Г.П. Катунин, Г.В. Мамчев, В.Н. Попантонопуло, В.П. Шувалов]; под ред. проф. В.П. Шувалова. – [2-е изд., испр. и доп.]. – М.: Горчая линия – Телеком, 2005. – 672 с.

5 Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование: учеб. пособ. для вузов / Бабков В.Ю., Вознюк М.А., Михайлов П.А.. – [2-е изд., испр.]. – М.: Горчая линия – Телеком, 2007. – 224 с.

6 Проектирование радиопередатчиков: учеб. пособ. для вузов / [В.В. Шахгильдян, М.С. Шумилин, В.Б. Козырев и др.]; под ред. В.В. Шахгильдяна. – [4-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Радио и связь, 2000. – 656 с.

7 Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн: учебник для вузов / [Г.А. Ерохин, О.В. Чернышев, Н.Д. Козырев, В.Г. Кочержевский]; под ред. Г.А. Ерохина. – [3-е изд.]. – М.: Горчая линия – Телеком, 2007. – 491 с.

8 Ратынский М.В. Основы сотовой связи / М.В. Ратынский; под ред. Д.Б. Зимина. – М.: Радио и связь, 1998. – 248 с.

9 Невдяев Л.М. Мобильная связь 3-го поколения. Серия изданий «Связь и бизнес» /Л.М. Невдяев; под ред. Ю.М. Горностаева. – М.: МЦНТИ, ООО «Мобильные коммуникации», 2000. – 208 с.

10 Величко В.В. Передача данных в сетях мобильной связи третьего поколения / В.В. Величко; под ред. чл.-кор. РАН Ю.Б. Зубарева.– М.: Радио и связь, Горчая линия – Телеком, 2005. – 332 с.

11 CDMA systems engineering handbook / Jhong S. Lee, Leonard E. Miller. – Artech House mobile communication library, 1998. – 1231 p.

12 Карташевский В.Г. Сети подвижной связи / В.Г. Карташевский, С.Н. Семенов, Т.В. Фирстова. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 299 с.

13 Сухопутная подвижная радиосвязь. В 2-х кн. – Кн. 1. – Основы теории / [И.М. Пышкин, И.И. Дежурный, Р.Т. Пантикян и др.]; под ред. В.С. Семенихина и И.М. Пышкина. – М.: Радио и связь, 1990. – 432 с.

14 Сухопутная подвижная радиосвязь. В 2-х кн. – Кн. 2. – Системы и аппаратура / [И.М. Пышкин, И.И. Дежурный, Р.Т. Пантикян и др.]; под ред. В.С. Семенихина и И.М. Пышкина. – М.: Радио и связь, 1990. – 328 с.

15 Кочержевский В.Г. Антенно-фидерные устройства: учебник для вузов / Кочержевский В.Г., Ерохин Г.А., Козырев Н.Д.. – М.: Радио и связь, 1989. – 352 с.

16 Системи телекомунікацій: підруч. для вузів / [М.І. Мазурков, В.І. Правда, П.Ю. Баранов, І.М. Єрмічой, В.Я. Чечельницький]; за ред. М.І. Мазурова і В.І. Правди. – Одеса: ТЕС, 2005. – 288 с.

17 Берлин А.Н. Цифровые сотовые системы связи. – М.: Эко-Трендз, 2007. – 296 с.

18 Закиров З.Г. Сотовая связь стандарта GSM. Современное состояние и переход к сетям третьего поколения / Закиров З.Г., Надеев А.Ф., Файзуллин Р.Р.. – М.: Эко-Трендз, 2004. – 264 с.

19 Тихвинский В.О. Подвижная связь третьего поколения. Экономика и качество услуг / В.О. Тихвинский, Е.Е. Володина. – М.: Радио и связь, Горячая линия–Телеком, 2005. – 240 с.

20 Системы подвижной радиосвязи / [И.М. Пышкин, И.И. Дежурный, В.Н. Талызин, Г.Д. Чвилев]; под ред. И.М. Пышкина. – М.: Радио и связь, 1986. – 328 с.

21 Корнєєв Ю.В. Принципи побудови систем і мереж рухомого зв'язку: навч. посіб. / Ю.В. Корнєєв, Е.О. Сукачев, М.О. Чумак. – Одеса: УДАЗ ім. О.С. Попова, 1997. – 68 с.

22 Сукачев Э.А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами: учебн. пособ. / Э.А. Сукачев. – [2-е изд., испр. и допол.]. – Одесса: УГАС, 2000. – 119 с.

23 Бойко М.П. Системи стільникового зв'язку: конспект лекцій / М.П. Бойко. – Одеса: ОНАЗ, 2004. – 76 с.

## 7.2 Додаткова література

24 Макаренко В. Компоненты для построения беспроводных систем связи / В. Макаренко // Телекоммуникации и связь. – 2009. – № 3. – С. 44-50.

25 Белов Л. Синтезаторы стабильных частот /Л. Белов // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2004. – № 3. – С. 38-44.

26 Стариков О. Прямой цифровой синтез частоты и его применение / О. Стариков // Chip News. – 2002. – № 3. – С. 56-64 .

27 Белов Л. Преобразователи частоты. Современные ВЧ компоненты / Л. Белов // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2004. – № 2. – С.44-50.

28 Base Station Antennas, Filters, Combiners and Amplifiers for Mobile Communications 790...6000 MHz / KATHREIN Antennen Electronic / Catalogue Issue 01.2009. – [www.kathrein.de](http://www.kathrein.de).

29 Алехин Ю.Н. Антенно-фидерные устройства для базовых станций сотовой и подвижной связи / Ю.Н. Алехин, Е.В. Лазарева // Мобильные системы. – 2002. – № 3.

30 Слюсар В.И. 60 лет теории электрически малых антенн. Некоторые итоги / В.И. Слюсар // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2006. – №7. – С.10-19.

## ДОДАТОК А

Таблица Эрланга (Эрланг В)

A <sub>n</sub> , Ерл						
$\delta_{a^3ai}$	1,0 %	2 %	5 %	10 %	20 %	50 %
N						
1	0,101	0,0204	0,0526	0,111	0,250	1,00
2	0,153	0,223	0,381	0,595	1,00	2,73
3	0,455	0,602	0,899	1,27	1,93	4,59
4	0,869	1,09	1,52	2,05	2,95	6,50
5	1,36	1,66	2,22	2,88	4,01	8,44
6	1,91	2,28	2,96	3,76	5,11	10,4
7	2,50	2,94	3,74	4,67	6,23	12,4
8	3,13	3,63	4,54	5,60	7,37	14,3
9	3,78	4,34	5,37	6,55	8,52	16,3
10	4,46	5,08	6,22	7,51	9,68	18,3
11	5,16	5,84	7,08	8,49	10,9	20,3
12	5,88	6,61	7,95	9,47	12,0	22,2
13	6,61	7,40	8,83	10,5	13,2	24,2
14	7,35	8,20	9,73	11,5	14,4	26,2
15	8,11	9,01	10,6	12,5	15,6	28,2
16	8,88	9,83	11,5	13,5	16,8	30,2
17	9,65	10,7	12,5	14,5	18,0	32,2
18	10,4	11,5	13,4	15,5	19,2	34,2
19	11,2	12,3	14,3	16,6	20,4	36,2
20	12,0	13,2	15,2	17,6	21,6	38,2
21	12,8	14,0	16,2	18,7	22,8	40,2
22	13,7	14,9	17,1	19,7	24,1	42,1
23	14,5	15,8	18,1	20,7	25,3	44,1
24	15,3	16,6	19,0	21,8	26,5	46,1
25	16,1	17,5	20,0	22,8	27,7	48,1
26	17,0	18,4	20,9	23,9	28,9	50,1
27	17,8	19,3	21,9	24,9	30,2	52,1
28	18,6	20,2	22,9	26,0	31,4	54,1
29	19,5	21,0	23,8	27,1	32,6	56,1
30	20,3	21,9	24,8	28,1	33,8	58,1
31	21,2	22,8	25,8	29,2	35,1	60,1
32	22,0	23,7	26,7	30,2	36,3	62,1
33	22,9	24,6	27,7	31,3	37,5	64,1
34	23,8	25,5	28,7	32,4	38,8	66,1
35	24,6	26,4	29,7	33,4	40,0	68,1

