**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ „ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”**

**Кафедра теоретичної радіотехніки та радіовимірювань**

**РОЗРАХУНОК ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ХАРАКТЕРИСТИК**

**СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЗВ'ЯЗКУ**

**ЗАВДАННЯ**

на виконання курсової роботи з дисципліни

“Теорія електричного зв'язку” та

**Методичні вказівки**

до її виконання

**Львів 2005**

**ПЕРЕДМОВА**

Учбовими планами напряму базового вищої освіти “Телекомунікації” 6.0924 передбачене виконання курсової роботи з дисципліни “Теорія електричного зв'язку”. Мета КР - закріплення знань основних положень курсу “Теорія електричного зв'язку” (ТЕЗ) шляхом проведення розрахунків характеристик систем електрозв'язку.

Методичні вказівки містять три варіанти завдань, що відрізняються видами повідомлень і методами їхньої передачі:

**Варіант А** – система передачі неперервних повідомлень аналоговим методом;

**Варіант Ц** – система передачі неперервних повідомлень цифровим методом;

**Варіант Д** – система передачі дискретних повідомлень.

Для виконання КР студент отримує від керівника КР індивідуальне завдання, що вказує номер варіанту (наприклад, “Виконати КР за варіантом Ц‑47”). Отримавши завдання в такій формі, студент повинен виписати з розд. 1 цього методичного посібника для відповідного варіанту (у даному випадку “Ц”) перелік вихідних даних, а з відповідного додатку (у даному випадку з Додатку 2, варіант № 47) – числові значення вихідних даних.

У розд. 1 методпосібника для кожного з варіантів наведене "Завдання", у якому вказані перелік та послідовність розрахунків, що необхідно виконати. Кожний з пунктів завдання повинен бути виконаний у вигляді розділу КР.

У методпосібнику використані умовні позначення, які застосовуються на лекціях та на практичних і лабораторних заняттях.

У Додатку 4 наведені основні правила оформлення КР.

Основною літературою для виконання КР є підручники [1, 2].

**1. ЗАВДАННЯ НА КУРСОВУ РОБОТУ**

**1.1 Варіант А**

Повідомлення неперервного джерела передається каналом зв'язку аналоговим методом. В каналі зв'язку з постійними параметрами і адитивним білим гауссовим шумом використовується модуляція гармонійного переносника.

В табл. Д1 наведені вихідні дані.

1. Джерело повідомлень задане характеристиками первинного сигналу *b*(*t)*:

- середнє значення дорівнює нулю;

- густина ймовірності миттєвих значень *p*(*b)* - гауссів розподіл (ГР), двосторонній експоненційний розподіл (ДЕР) або рівномірний розподіл на інтервалі (–*b*max, *b*max) (PP);

- середня потужність сигналу *Рb*;

- коефіцієнт амплітуди *К*a;

- максимальна частота спектру *F*max.

2. Допустиме відношення сигнал/шум на вході одержувача .

3. Метод модуляції.

4. Для порівняння аналогового і цифрового методів передачі задані:

- метод передачі - ІКМ з рівномірним квантування, допустиме відношення сигнал/шум квантування ;

- енергетичний виграш кодування (ЕВК), що забезпечується при використанні в каналі зв'язку завадостійкого кодуванням;

- метод дискретної модуляції і спосіб прийому: когерентний або некогерентний.

**Завдання**

1. **Структурна схема аналогової системи передачі**. Зобразити структурну схему аналогової системи передачі неперервних повідомлень. Пояснити призначення кожного блоку, дати визначення основних параметрів, що характеризують кожний блок, і навести часові діаграми характерних сигналів на входах і виходах блоків.

2. **Розрахунок інформаційних характеристик джерела повідомлень**. Для заданих статистичних характеристик джерела неперервних повідомлень і якості відтворення повідомлення на вході одержувача зробити розрахунок епсилон-ентропії *Н*ε(*В*), надмірності і продуктивності джерела *R*д. Пояснити причини надмірності джерела. Сформулювати вимоги до пропускної здатності каналу зв'язку.

3. **Розрахунок завадостійкості демодулятора**. Для заданого методу модуляції розрахувати і побудувати графік залежності = *f*(ρвх). Якщо використовується ЧМ, необхідно вибрати і обгрунтувати індекс модуляції. Визначити необхідне відношення середніх потужностей сигналу і шуму на вході демодулятора,  при якому забезпечується задане допустиме відношення сигнал/шум на вході одержувача .

4. **Розрахунок основних параметрів цифрової системи передачі**. Зобразити структурну схему цифрової системи передачі методом ІКМ з використанням в каналі зв'язку завадостійкого кодування і дискретної модуляції гармонійного переносника. Пояснити призначення кожного блоку та дати визначення основних параметрів, що характеризують кожний блок.

Розрахувати основні параметри АЦП: число рівнів квантування, відношення сигнал/шум квантування при вибраному числі рівнів квантування, допустиму ймовірність помилки символу на вході ЦАП, інтервал дискретизації, тривалість двійкового символу.

Для заданих методу дискретної модуляції та способу прийому розрахувати і побудувати графік залежності ймовірності помилки двійкового символу на виході демодулятора від відношення сигнал/шум на вході демодулятора *р* = *f*(); визначити необхідне відношення сигнал/шум  на вході демодулятора, при якому ймовірність помилки символу на виході демодулятора дорівнює допустимій ймовірності помилки символу на вході ЦАП *p*б.

Вибрати коректуючий код, що забезпечує заданий енергетичний виграш кодування при допустимій ймовірності помилки символу на вході ЦАП. Розрахувати і побудувати залежність імовірності помилки символу на виході декодера від відношення сигнал/шум на вході демодулятора *р*д = *f*1(). Визначити необхідне відношення сигнал/шум на вході демодулятора , при якому забезпечується допустима ймовірність помилки символу на вході ЦАП. Визначити одержаний ЕВК.

5. **Розрахунки і порівняння ефективності систем передачі неперервних повідомлень**. Зробити розрахунки і порівняння інформаційної, енергетичної і частотної ефективності системи зв'язку, що розраховується, для варіанту аналогової передачі і двох варіантів цифрової передачі – з завадостійким кодуванням та без нього. Побудувати графік граничної залежності β = *f*(γ). На цьому рисунку точками відбити ефективність трьох варіантів передачі. Порівняти показники ефективності трьох варіантів передачі між собою та з граничною ефективністю. Зробити висновки за результатами порівняння.

6. **Заключення**. Зробити висновки по курсовій роботі в цілому.

**1.2 Варіант Ц**

Повідомлення неперервного джерела передається каналом зв'язку методом ІКМ. В дискретному каналі зв'язку використовується завадостійке кодування. Для передачі неперервним каналом зв'язку з постійними параметрами і адитивним білим гауссовим шумом використовується модуляція гармонійного переносника.

В табл. Д2 наведені вихідні дані.

1. Джерело повідомлень задане характеристиками первинного сигналу *b*(*t*):

- середнє значення дорівнює нулю;

- густина ймовірності миттєвих значень *р*(*b*) – гауссів розподіл (ГР), двосторонній експоненційний розподіл (ДЕР) або рівномірний розподіл на інтервалі (–*b*max, *b*max) (PP);

- середня потужність сигналу *Рb*;

- коефіцієнт амплітуди *К*a;

- максимальна частота спектру *F*max.

2. Допустиме відношення сигнал/шум на вході одержувача .

3. ІКМ перетворення неперервного сигналу в цифровий виконується з використанням рівномірного квантування, допустиме відношення сигнал/шум квантування .

4. Метод модуляції гармонійного переносника.

5. Спосіб прийому: когерентний або некогерентний.

6. Енергетичний виграш кодування (ЕВК).

**Завдання**

1. **Структурна схема ЦСП**. Зобразити структурну схему цифрової системи передачі неперервних повідомлень. Пояснити призначення кожного блоку, дати визначення основних параметрів, що характеризують кожний блок, і навести тимчасові діаграми характерних сигналів на входах і виходах блоків.

2. **Розрахунок параметрів АЦП і ЦАП**. Скласти і описати структурні схеми АЦП і ЦАП, визначити число рівнів квантування, відношення сигнал/шум квантування при вибраному числі рівнів квантування, допустиму ймовірність помилки символу на вході ЦАП *p*б, частоту дискретизації, інтервал дискретизації і тривалість двійкового символу.

3. **Розрахунок інформаційних характеристик джерела повідомлень і первинних сигналів**. Для заданих статистичних характеристик джерела неперервних повідомлень і якості відтворення повідомлення на вході одержувача виконати розрахунок епсилон-ентропії *H*ε(*B*), надмірності і продуктивності джерела *R*д. Пояснити причини надмірності джерела. Сформулювати вимоги до пропускної здатності каналу зв'язку.

4. **Розрахунок завадостійкості демодулятора**. Для заданих методу модуляції і способу прийому розрахувати і побудувати графік залежності ймовірності помилки двійкового символу на виході демодулятора від відношення сигнал/шум на вході демодулятора *р* = *f*(); визначити необхідне відношення сигнал/шум на вході демодулятора , при якому ймовірність помилки символу на виході демодулятора дорівнює допустимій ймовірності помилки символу на вході ЦАП *p*б.

5. **Вибір коректуючого коду розрахунок завадостійкості системи зв'язку з кодуванням**. Для заданих методу модуляції і способу прийому вибрати коректуючий код, що забезпечує заданий енергетичний виграш кодування при ймовірності помилки символу на виході декодера *p*д = *p*б. Розрахувати і побудувати залежність імовірності помилки символу на виході декодера від відношення сигнал/шум на вході демодулятора *p*д = *f*1(). Визначити необхідне відношення сигнал/шум на вході демодулятора , при якому забезпечується ймовірність помилки символу на виході декодера *p*б. Визначити одержаний ЕВК.

6. **Розрахунок основних параметрів аналогової системи передачі**. Зобразити структурну схему аналогової системи передачі методом ЧМ. Пояснити призначення кожного блоку і дати визначення основних параметрів, що характеризують кожний блок.

Характеристики повідомлення, що передається, відношення сигнал/завада  і смуга пропускання неперервного каналу зв'язку ті ж, що і в системі цифрової передачі з завадостійким кодуванням. З метою порівняння аналогового і цифрового методів передачі визначити необхідне відношення сигнал/шум на вході демодулятора . Індекс модуляції визначити за двох умов: обмеженої смуги частот каналу зв'язку та роботи демодулятора вище порога.

7. **Розрахунки і порівняння ефективності систем передачі неперервних повідомлень.** Виконати розрахунки і порівняння інформаційної, енергетичної і частотної ефективності системи зв'язку для двох варіантів цифрової передачі з завадостійким кодуванням і без нього та варіанту аналогової передачі методом ЧМ. Побудувати графік граничної залежності β = *f*(γ). На цьому рисунку точками відбити ефективність трьох варіантів передачі. Порівняти показники ефективності трьох варіантів передачі між собою і з граничною ефективністю. Зробити висновки за результатами порівняння.

8. **Заключення**. Зробити висновки по курсовій роботі в цілому.

**1.3 Варіант Д**

Повідомлення дискретного джерела кодується двійковим кодом і передається дискретним каналом зв'язку з завадостійким кодуванням. Для передачі неперервним каналом зв'язку з постійними параметрами і адитивним білим гауссовим шумом використовується модуляція гармонійного переносника.

В табл. Д3 наведені вихідні дані:

1. Джерело виробляє послідовність незалежних знаків з розподілом імовірностей: або рівноймовірним при об'ємі алфавіту *М*а, або з розподілом букв українського тексту, або з розподілом букв російського тексту, або з розподілом букв англійського тексту.

2. Допустима ймовірність помилки знаку на вході одержувача *Р*зн.

3. Швидкість модуляції на виході кодера простого коду *В.*

1. Метод модуляції.
2. Спосіб прийому: когерентний або некогерентний.

6. Енергетичний виграш кодування (ЕВК).

**Завдання**

1. **Структурна схема СПДП**. Зобразити структурну схему системи передачі дискретних повідомлень. Пояснити призначення кожного блоку, дати визначення основних параметрів, що характеризують кожний блок, і навести часові діаграми характерних сигналів на входах і виходах блоків.

2. **Розрахунок параметрів кодера і декодера простого коду**. Розрахувати параметри кодера і декодера простого коду: довжину коду *n*, тривалість двійкового символу *Т*б, час передачі одного знаку *Т*зн, допустиму ймовірність помилки символу на вході декодера *р*б.

3. **Розрахунок інформаційних характеристик джерела повідомлень**. Для заданих статистичних характеристик джерела дискретних повідомлень виконати розрахунок ентропії *Н*(*А*), надмірності і продуктивності джерела *R*д. Пояснити причини надмірності джерела. Сформулювати вимоги до пропускної здатності каналу зв'язку.

4. **Розрахунок завадостійкості демодулятора**. Для заданих методу модуляції і способу прийому розрахувати і побудувати графік залежності ймовірності помилки двійкового символу на виході демодулятора від відношення сигнал/шум на вході демодулятора *р* = *f*(); визначити необхідне відношення сигнал/шум на вході демодулятора , при якому ймовірність помилки символу на виході демодулятора дорівнює допустимій ймовірності помилки символу на вході декодера простого коду *р*б.

5. **Вибір коректуючого коду і розрахунок завадостійкості системи зв'язку з кодуванням**. Для заданих методу модуляції і способу прийому вибрати коректуючий код, що забезпечує заданий енергетичний виграш кодування при ймовірності помилки символу на виході декодера *р*д = *p*б. Розрахувати і побудувати залежність ймовірності помилки символу на виході декодера від відношення сигнал/шум на вході демодулятора *p*д = *f*1(). Визначити необхідне відношення сигнал/шум на вході демодулятора , при якому забезпечується ймовірність помилки символу на виході декодера *р*б. Визначити досягнутий ЕВК.

6. **Розрахунок ефективності системи передачі дискретних повідомлень**. Виконати розрахунки і порівняння інформаційної, енергетичної і частотної ефективності системи зв'язку, що розраховується, для двох варіантів передачі – з завадостійким кодуванням і без нього. Побудувати графік граничної залежності β = *f*(γ). На цьому рисунку точками відбити ефективність двох варіантів передачі. Порівняти ефективність двох варіантів передачі між собою і з граничною ефективністю. Зробити висновки за результатами порівняння.

7. **Заключення**. Зробити висновки по курсовій роботі в цілому.

**2. СТРУКТУРНА СХЕМА СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ПОВІДОМЛЕНЬ**

У цьому розділі КР необхідно навести опис структурної схеми системи електрозв'язку, принципу дії і особливостей роботи окремих блоків для заданого виду повідомлення і способу передачі (кодування і модуляції). При описі необхідно дати визначення основних параметрів, що характеризують кожний блок, і навести часові діаграми характерних сигналів на входах і виходах блоків.

При розгляді систем передачі неперервних повідомлень вважають, що первинний сигнал *b*(*t*) пропорційний повідомленню *а*(*t*): *b*(*t*) = *c⋅a*(*t*), *c* – коефіцієнт пропорційності. Тому повідомлення на виході джерела і вході одержувача представлені первинними сигналами *b*(*t*) і (*t*) відповідно.

Структурна схема системи передачі неперервних повідомлень аналоговим методом наведена на рис. 1а. Для її опису можна скористуватися матеріалом розділу 1 в підручниках [1, 2].

Структурна схема цифрової системи передачі неперервних повідомлень наведена на рис. 1б. Для її опису див. [1, гл. 1, розд. 8.1; 2, гл. 1, розд. 16.1]. Оскільки в системі передачі використовується завадостійке кодування, то між АЦП і модулятором вімкнений кодер коректуючого коду, а між демодулятором і ЦАП – декодер коректуючого коду.

Структурна схема системи передачі дискретних повідомлень наведена на рис. 1в. Для її опису див. [1, гл. 1; 2, гл. 1, розд. 18.2]. Оскільки за завданням об'єм алфавіту джерела повідомлень *М*а > 2, а в каналі зв'язку використовується завадостійке кодування, то схема містить два кодери – простого коду і коректуючого коду і, відповідно, два декодери – коректуючого коду і простого коду.

**3. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ КОДЕРА І ДЕКОДЕРА ПРОСТОГО КОДУ**

**Вихідні дані:**

- об'єм алфавіту джерела дискретних повідомлень *М*а;

- швидкість модуляції на виході кодера простого коду *В*;

- допустима ймовірність помилки знаку на виході декодера *Р*зн.

**Вимагається визначити:**

- тривалість двійкового символу (біта) на виході кодера *Т*б;

- довжину простого коду *n*;

- час передачі одного знаку *Т*зн;

- допустиму ймовірність помилки біта на вході декодера *р*б.

**Розрахункові співвідношення й порядок розрахунку**

Припускається, що кодування ведеться рівномірним кодом, при якому, на відміну від нерівномірного коду, більш прості в реалізації кодер та декодер.

Довжина коду визначається за умови, що число можливих комбінацій не менш за об'єм алфавіту джерела

2*n* ≥ *М*a або *n* ≥ log2*M*a. (3.1)

Одержувач

повідомлень

Джерело

повідомлень

ЦАП

Декодер

корект.

коду

Демоду-

лятор

Канал

зв'язку

Моду-

лятор

Кодер

корект.

коду

АЦП

Одержувач

повідомлень

Демоду-

лятор

Канал

зв'язку

Моду-

лятор

Джерело

повідомлень

Одержувач

повідомлень

Джерело

повідомлень

Декодер

простого

коду

Декодер

корект.

коду

Демоду-

лятор

Канал

зв'язку

Моду-

лятор

Кодер

корект.

коду

Кодер

простого

коду

Рисунок 1 – Структурні схеми систем передачі: а – неперервних повідомлень аналоговим методом;

б – неперервних повідомлень цифровим методом; в – дискретних повідомлень

â)

á)

à)

Оскільки інші вимоги до коду не пред'являються, то довжина коду вибирається як мінімальне ціле число, при якому виконуються нерівності (3.1).

Тривалість двійкового символу на виході кодера визначається

*Т*б = 1/*В.* (3.2)

Час передачі одного знаку

*Т*зн = *nT*б. (3.3)

Допустима ймовірність помилки біта на вході декодера визначається за умови, що помилки символів в каналі зв'язку (вихід кодера – вхід декодера) незалежні: *Р*зн = 1 – (1 – *р*б) *n* = 1 – (1 – *np*б + 0,5n(n–1)*p*б2 – ... ). Ясно, що при заданих малих значеннях *Р*зн ≤ 10–4 величина *Р*зн буде визначатись складовим *np*б, тобто

*Р*б = *Р*зн/*n*. (3.4)

**4. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ АЦП ТА ЦАП**

**Вихідні дані** для розрахунків:

- максимальна частота спектру первинного сигналу *F*max;

- густина ймовірності миттєвих значень первинного сигналу *p*(*b*);

- середня потужність первинного сигналу *Pb*;

- коефіцієнт амплітуди первинного сигналу *К*a;

- допустиме відношення сигнал/завада на вході одержувача ;

- допустиме відношення сигнал/шум квантування ;

- в АЦП виконується рівномірне квантування.

**Вимагається:**

- скласти і описати структурні схеми АЦП і ЦАП;

- визначити частоту дискретизації *f*д і інтервал дискретизації *Т*д;

- визначити число рівнів квантування *L*, довжину двійкового коду *n* і тривалість двійкового символу *Т*б;

- розрахувати відношення сигнал/шум квантування ρкв при вибраних параметрах АЦП;

- розрахувати допустиму ймовірність помилки символу *р*б в каналі зв'язку (на вході ЦАП).

**Розрахункові формули**

Згідно з теоремою Котельникова [1, розд. 2.7; 2, розд. 2.4] частота дискретизації *f*д = 1/*Т*д повинна задовольняти умові

*f*д≥ 2Fmax. (4.1)

Інтервал дискретизації – величина, зворотна частоті дискретизації

*Т*д= 1/*f*д. (4.2)

Завадостійкість системи передачі неперервних повідомлень визначається відношенням сигнал/завада на вході одержувача

ρвих=*Pb*/, (4.3)

де  - середня потужність завади на вході одержувача.

В системі цифрової передачі методом ІКМ потужність завади на виході ЦАП визначається

, (4.4)

де - середня потужність шуму квантування;

- середня потужність шуму неправдивих імпульсів.

В системі передачі методом ІКМ визначають також відношення сигнал/шум квантування

ρкв=*Pb*/. (4.5)

Величина ρкв при рівномірному квантуванні визначається

ρкв=3*L*2/. (4.6)

Потужність шуму неправдивих імпульсів на виході ЦАП визначається співвідношенням [1, формула (8.14)]

, (4.7)

де *р* – імовірність помилки біта на вході ЦАП;

Δ*b* – крок квантування;

*n* – довжина двійкового коду АЦП, зв'язана з числом рівнів квантування

*n* = log2*L*. (4.8)

Це співвідношення враховує, що число рівнів квантування *L* – цілий ступінь числа 2.

Оскільки первинний сигнал *b*(*t*), що підлягає перетворенню в цифровий сигнал, приймає значення від *b*min до *b*max, то інтервал (*b*min, *bmax*) підлягає квантуванню, і крок квантування визначається

Δ*b* = (*b*max – *b*min)/*L*. (4.9)

У сигналів зі середнім значенням рівним нулю *b*min = – *b*max. Якщо значення *b*max не задане, те воно визначається за допомогою співвідношення

*b*max = *К*a, (4.10)

Тривалість двійкового символу на виході АЦП визначається

*Т*б = *Т*д/*n*. (4.11)

**Порядок розрахунків**

Структурні схеми АЦП і ЦАП докладно описані в [1, гл. 8; 2, гл. 16]. Наведені там схеми АЦП необхідно доповнити вхідним ФНЧ, що в реальних системах електрозв'язку використовується для обмеження спектру первинного сигналу. Це пов'язане з тим, що у більшості первинних сигналів спектр є поволі спадаючою функцією, і величина *F*max не є частота, вище якої спектр дорівнює нулю, а є граничною частотою смуги, яку необхідно передати за умови досягнення заданої якості відтворення первинного сигналу (*F*max визначається необхідною розбірливістю мови, чіткістю зображення і т. д.).

Збільшення частоти дискретизації дозволяє спростити вхідний фільтр АЦП, що обмежує спектр первинного сигналу, і вихідний (інтерполюючий) ФНЧ ЦАП, що відновлює неперервний сигнал за відліками. Але збільшення частоти дискретизації призводить до зменшення тривалості двійкових символів на виході АЦП, що вимагає небажаного розширення смуги частот каналу зв'язку для передачі цих символів. Звичайно параметри вхідного ФНЧ АЦП і вихідного ФНЧ ЦАП вибирають однаковими.

На рис. 2 дані: *S*(*f*) - спектр відліків, поданих вузькими імпульсами, *Sb*(*f)* – спектр неперервного сигналу *b*(*t*), *A*(*f*) - робоче ослаблення ФНЧ. Для того, щоб ФНЧ не вносили лінійних спотворень в неперервний сигнал, граничні частоти смуг пропускання ФНЧ повинні задовольняти умові

*f*1 ≥ *F*max*.* (4.12)

Для того, щоб виключити накладення спектрів *Sb*(*f*) і *Sb*(*f* – *f*д), а також забезпечити ослаблення відновлюючим ФНЧ складових *Sb*(*f* – *f*д), граничні частоти смуг затримки ФНЧ повинні задовольняти умові

*f*2 ≤ (*f*д – *F*max). (4.13)

0

Рисунок 2 – Спектр відліків та АЧХ фільтрів АЦП і ЦАП

Щоб ФНЧ не були занадто складними, відношення граничних частот вибирають з умови

*f*2/*f*1 = 1,3 ... 1,4. (4.14)

Після підстановки співвідношень (4.12) і (4.13) в (4.14) можна вибрати частоту дискретизації, а після цього розрахувати інтервал дискретизації.

Для визначення числа рівнів квантування слід за допомогою співвідношення (4.6) по заданому допустимому відношенню сигнал/шум квантування  розрахувати допустиме число рівнів квантування *L*доп, а після цього вибрати *L* ≥ *L*доп і розрахувати *n* за формулою (4.8).

При проведенні розрахунків задані в децибелах відношення сигнал/завада необхідно представити в разах

ρ =100,1ρ [дБ]. (4.15)

За формулою (4.6) слід розрахувати значення ρкв при вибраних параметрах АЦП, перевести розраховане значення в децибели і порівняти з заданим .

Допустима ймовірність помилки двійкового символу на вході ЦАП *р*б визначається за допомогою співвідношення (4.7). Для обчислення *р*б необхідно заздалегідь визначити допустиму величину потужності шуму неправдивих імпульсів на основі співвідношень (4.3), (4.4) і(4.5), прийнявши = , а також величину кроку квантування, що визначається формулою (4.9).

**5. РОЗРАХУНОК ІНФОРМАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЖЕРЕЛ ПОВІДОМЛЕНЬ ТА ПЕРВИННИХ СИГНАЛІВ**

**5.1 Розрахунок інформаційних характеристик джерела неперервних повідомлень**

**Вихідні дані:**

- густина ймовірності миттєвих значень первинного сигналу *р*(*b*);

- максимальна частота спектра первинного сигналу *F*max;

- відношення середньої потужності первинного сигналу до середньої потужності помилки відновлення на виході системи передачі ρ вих.

**Вимагається розрахувати:**

- епсилон-ентропію джерела *Н*ε(*В*);

- коефіцієнт надлишковості джерела ;

- продуктивність джерела *R*д.

**Розрахункові формули і порядок розрахунку**

Повідомлення неперервного джерела перетворюється в первинний аналоговий сигнал *b*(*t*) звичайно без втрати інформації, тому розрахунки інформаційних характеристик джерела провадяться для первинного сигналу.

Відомості про епсилон-ентропію і методи її розрахунку наведені в [1, розд. 4.7] – формула (4.63). Диференціальна ентропія *h*(*B*) та умовна диференціальна ентропія *h*(*B*/), що входять у формулу (4.63), обчислюються за співвідношенням (4.30) у [1] за відомими густинами імовірності сигналів *b*(*t*) і (*t*). Диференціальна ентропія сигналу залежить від розподілу ймовірності *р*(*b*) та дисперсії сигналу, і відповідні розрахункові формули для її обчислення наведені в табл. 1. У сигналів зі середнім значенням, рівним нулю, = *Рb*.

Під час розрахунків вважають, що помилка відновлення на виході системи передачі є гауссовою, і умовна диференціальна ентропія *h*(*B*/) обчислюється за формулою (4.34) у [1], в яку необхідно підставити значення дисперсії помилки відновлення (потужності завади на виході системи передачі) . Значення  визначається за заданим відношенням сигнал/завада ρвих і середній потужності сигналу *Рb* за формулою (4.3). До обчислень всі задані в децибелах величини необхідно перевести в рази – формула (4.15).

Коефіцієнт надлишковості джерела обчислюється за формулою (4.10) з [1]. В цю формулу підставляються обчислене значення епсилон-ентропії *Н*ε(*B*) і максимально можливе значення *Н*εmax(*B*), що досягається для гауссового розподілу ймовірності сигналу *b*(*t*) з тією ж дисперсією сигналу .

Таблиця 1 – Розрахункові формули для диференціальної ентропії

|  |  |
| --- | --- |
| Розподіл імовірності | Диференціальна ентропія  h (B), біт/відлік |
| Гауссів розподіл (крива 1 на рис. 3) |  |
| Двосторонній експоненційний  розподіл (крива 2 на рис. 3) |  |
| Рівномірний розподіл (крива 3 на рис. 3)  Рисунок 3 – Розподіли ймовірностей первинних сигналів |  |



Продуктивність джерела *R*д*=*, яку називають епсилон-продуктивністю, обчислюють в припущенні, що відліки слідують через інтервал Котельникова – формула (4.67) з [1]. У цій формулі *F*c - максимальна частота спектру первинного сигналу *F*max. Вимоги до пропускної здатності неперервного каналу зв'язку формулюються на основі теореми кодування Шеннона для каналу із завадами [1, розд. 4.6].

**5.2 Розрахунок інформаційних характеристик джерела дискретних повідомлень**

**Вихідні дані:**

- обсяг алфавіту джерела *М*a;

- імовірності знаків *Р*(*аk*), що утворюють алфавіт джерела (припускається, що знаки в повідомленнях незалежні);

- тривалість передачі одного знаку *Т*зн.

**Вимагається розрахувати:**

- ентропію джерела *Н* (*А)*;

- коефіцієнт надлишковості джерела ;

- продуктивність джерела *R*д.

**Розрахункові формули і порядок розрахунку**

Розрахунки інформаційних характеристик можна виконати на основі матеріалу, викладеного в розд. 4.1 підручника [1]. Необхідні для розрахунків імовірності літер в українському, російському і англійському текстах наведені в табл. 2, 3 і 4. Розрахунки ентропії джерела слід виконувати на ЕОМ або програмованому калькуляторі.

Таблиця 2 – Розподіл імовірностей літер в українських текстах

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Літера | Імовір-ність | Літера | Імовір-ність | Літера | Імовір-ність | Літера | Імовірність |
| Пропуск | 0.122 | Р | 0.040 | З | 0.018 | Ж | 0.007 |
| О | 0.090 | С | 0.034 | Й | 0.017 | Ц | 0.006 |
| А | 0.074 | Л | 0.034 | Б | 0.016 | Ю | 0.006 |
| И | 0.059 | К | 0.032 | Я | 0.015 | Ї | 0.006 |
| І | 0.055 | У | 0.032 | Г | 0.013 | Є | 0.003 |
| Н | 0.053 | Д | 0.026 | Ч | 0.012 | Ф | 0.002 |
| В | 0.047 | П | 0.026 | Ш | 0.010 |  |  |
| Т | 0.044 | М | 0.023 | Х | 0.008 |  |  |
| Е | 0.041 | Ь | 0.021 | Щ | 0.008 |  |  |

Таблиця 3 – Розподіл імовірностей літер у російських текстах

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Літера | Імовір-ність | Літера | Імовір-ність | Літера | Імовір-ність | Літера | Імовір-ність |
| Пропуск | 0.175 | Р | 0.040 | Я | 0.018 | Х | 0.009 |
| О | 0.089 | В | 0.038 | Ы | 0.016 | Ж | 0.007 |
| Е, Ё | 0.072 | Л | 0.035 | З | 0.016 | Ю | 0.006 |
| А | 0.062 | К | 0.028 | Ь, Ъ | 0.014 | Ш | 0.006 |
| И | 0.062 | М | 0.026 | Б | 0.014 | Ц | 0.004 |
| Т | 0.053 | Д | 0.025 | Г | 0.013 | Щ | 0.003 |
| Н | 0.053 | П | 0.023 | Ч | 0.012 | Э | 0.003 |
| З | 0.045 | У | 0.021 | Й | 0.010 | Ф | 0.002 |

Таблиця 4 – Розподіл імовірностей літер в англійських текстах

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Літера | Імовір-ність | Літера | Імовір-ність | Літера | Імовір-ність | Літера | Імовір-ність |
| Пропуск | 0.198 | R | 0.054 | U | 0.022 | V | 0.008 |
| E | 0.105 | S | 0.052 | M | 0.021 | K | 0.003 |
| T | 0.072 | H | 0.047 | P | 0.017 | X | 0.002 |
| O | 0.065 | D | 0.035 | Y | 0.012 | J | 0.001 |
| A | 0.063 | L | 0.029 | W | 0.012 | Q | 0.001 |
| N | 0.059 | C | 0.023 | G | 0.011 | Z | 0.001 |
| I | 0.055 | F | 0.022 | B | 0.010 |  |  |

Продуктивність джерела *R*д легко визначити, якщо знати ентропію і тривалість передачі одного знаку [1, формула (4.11)].

Вимоги до пропускної здатності дискретного каналу зв'язку формулюються на основі теореми кодування Шеннона для каналу із завадами [1, розд. 4.6].

**6. РОЗРАХУНОК ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ДЕМОДУЛЯТОРА**

**6.1 Розрахунок завадостійкості демодулятора сигналу аналогової модуляції**

**Вихідні дані:**

- допустиме відношення сигнал/завада на виході демодулятора ;

- метод модуляції;

- канал зв'язку з постійними параметрами й адитивним білим гауссовим шумом;

- параметри первинного сигналу – коефіцієнт амплітуди *К*а і максимальна частота спектру *F*max.

**Вимагається розрахувати:**

- залежність ρвих = *f*(ρвх);

- необхідне відношення середніх потужностей сигналу і шуму на вході демодулятора .

**Розрахункові співвідношення та порядок розрахунку**

Основною характеристикою демодулятора сигналу аналогової модуляції є залежність ρвих = *f*(ρвх), яка встановлює зв'язок між відношенням середніх потужностей сигналу і шуму на вході демодулятора ρвх = *Ps*/*Pn* і відношенням середніх потужностей сигналу і завади на виході демодулятора ρвих = *Pb*/*Pε*. Значення ρвих і ρвх зв'язує величина *g* – виграш демодулятора [1, формула (7.32)]:

ρвих = *g*ρвх (6.1)

(тут і нижче в формулах ρвих і ρвх виражаються в разах).

Для сигналів АМ, БМ і ОМ величина *g* не залежить від ρвх і визначається формулами, наведеними в [1, c. 220]. Для заданого виду модуляції – ОМ, БМ або АМ визначити виграш *g* (коефіцієнт амплітудної модуляції *m*АМ підлягає вибору і обгрунтуванню з умови, що *m*АМ ≤ 1). Побудуйте графік залежності ρвих = *f*(ρвх) для діапазону значень ρвих від 0 дБ до допустимого значення . Масштаб для ρвих і ρвх повинен бути логарифмічним, як на рис. 7.5 в [1]. Визначити необхідне відношення ; покажіть на графіку точку, відповідну допустимому  і необхідному .

При частотній модуляції виграш демодулятора залежить від ρвх і визначається

*g*ЧМ = , (6.2)

Де *m*ЧМ - індекс частотної модуляції;

αЧМ = *FS*/*F*max*=* 2(*m*ЧМ + 1) (6.3)

– коефіцієнт розширення смуги частот при ЧМ;

*FS* = 2*F*max(*m*ЧМ + 1) (6.4)

– ширина спектру ЧМ сигналу.

Другий співмножник у формулі (6.2) дорівнює 1, коли ρвх перевищує порогове відношення сигнал/шум ρпр [1, розд. 7.5]. У цьому випадку виграш демодулятора визначається [1, формула (7.42)]:

*g*ЧМ = αЧМ. (6.5)

Порогове відношення сигнал/шум складно залежить від *m*ЧМ і *К*а. Для визначення значення ρпр при заданих *m*ЧМ і *К*а розраховують залежність ρвих = *g*ЧМρвх, коли *g*ЧМ визначається формулою (6.2). Приклад такої залежності наведений на рис. 4 – значення ρвих і ρ вх представлені в децибелах. Значення ρ р відповідає такому значенню ρвх, нижче якого зменшення ρвх призводить до різкого зменшення ρвих. Режим роботи демодулятора, коли ρвх  ρпр, не є робочим. Орієнтовне значення ρпр дорівнює 10 дБ.

Оптимізація аналогової системи передачі методом ЧМ полягає в виборі індексу модуляції *m*ЧМ, при якому мінімізується значення ρвх. Методика вибору індексу модуляції залежить від того, задана чи не задана смуга частот використовуваного каналу зв'язку.

1. Смуга частот каналу зв'язку *F*к обмежена: в завданні на виконання КР за варіантом Ц сказане, що смуга частот каналу зв'язку для передачі повідомлення аналогової ЧМ не повинна перевищувати смугу частот каналу зв'язку цифрової системи передачі з завадостійким кодуванням *F*к. Ця смуга частот визначається формулами (8.1), (8.2). У такому випадку індекс модуляції *m*ЧМ визначається за умови обмеженої смуги частот каналу зв'язку

*FS* ≤ *F*к (6.6)

і умови роботи демодулятора вище порога ρвх ≥ ρпр. Після підстановки (6.4) в (6.6) визначається індекс *m*ЧМ1, що задовольняє умові обмеженої смуги частот каналу зв'язку.



Для задоволення умові роботи вище порога слід прийняти значення ρпр = 10. Вважаючи, що ρвх = ρпр, αЧМ = 2*m*ЧМ та, використовуючи співвідношення (6.1) і (6.5), можна визначити орієнтовне значення *m*ЧМ2, при якому демодулятор буде працювати в області порога:

*m*ЧМ2 = . (6.7)

Остаточно вибирають *m*ЧМ, як менше з двох значень *m*ЧМ1 і *m*ЧМ2. Для вибраного значення *m*ЧМ будують графік ρвих = *f*(ρвх) – формула (6.2). На цьому графіку вказують точку, відповідну заданому  і необхідному .

2. Смуга частот каналу зв'язку не задана. Так поставлена задача в завданні на виконання КР варіанту А. Значення індексу модуляції вибирається тільки за умови роботи демодулятора в області порога і його значення ретельно оптимізується. Після обчислення орієнтовного значення *m*ЧМ2 за формулою (6.7), використовуючи вираження (6.2), будують графіки 5 залежностей ρвих = *f*(ρвх) для значення *m*ЧМ2, отриманого вище, і значень *m*ЧМ2 ± 2 і *m*ЧМ2 ± 4 (ці значення індексу рекомендується округлити до ближчих цілих чисел). За отриманими залежностями визначають значення *m*ЧМ, при якому ρвих дорівнює заданому , а ρвх знаходиться в області або трохи вище порога. На відповідній кривій вказують точку, відповідну заданому  і необхідному .

**6.2 Розрахунок завадостійкості демодулятора сигналу дискретної модуляції**

**Вихідні дані:**

- метод модуляції та спосіб прийому;

- канал зв'язку – з постійними параметрами і адитивним білим гауссовим шумом;

- допустима ймовірність помилки двійкового символу (біта) в каналі *р*б;

- тривалість двійкового символу *Т*б.

**Вимагається розрахувати:**

- залежність імовірності помилки біта від відношення сигнал/шум на вході демодулятора *р* = *f*() та побудувати графік цієї залежності;

- значення необхідного відношення сигнал/шум на вході демодулятора , що забезпечує допустиму ймовірність помилки біта *р*б.

**Розрахункові співвідношення**

Завадостійкість демодулятора сигналу дискретної модуляції визначають імовірністю помилки елементу модульованого сигналу *Р*пом або імовірністю помилки двійкового символу *р*. Імовірності помилки *Р*пом і *р* залежать від методу модуляції, способу прийому, відношення середньої енергії сигналів до питомої потужності завади та характеристик каналу зв'язку.

У табл. 5 наведені формули, які визначають імовірність помилки двійкового символу при передачі багатопозиційними сигналами по гауссовому каналу зв'язку з постійними параметрами. Перерахунок імовірності помилки елементу модульованого сигналу *Р*пом в імовірність помилки двійкового символу *р* було зроблено в припущенні, що використовується маніпуляційний код Грея.

В усіх формулах прийняті позначення:

=*E*б/*N*0 - відношення середньої енергії сигналів, що витрачається на передачу одного двійкового символу, до питомої потужності шуму;

*E*б =*PSТ*б;

*PS* - середня потужність сигналу;

- функція Крампа.

Можна користуватися формулою апроксимації функції Крампа

Ф(*x*) = 1 - 1,3exp(-0,44 (*x* + 0,75) 2). (6.8)

Таблиця 5 – Імовірність помилки двійкового символу при передачі багатопозиційними сигналами

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Спосіб прийому | Вид модуляції | Імовірність помилки двійкового символу |
|  | ФМ-4 | р = 0,5[1 - Ф(hб)] |
| Когерентний | ВФМ-4 | р = 1 - Ф2(hб) |
|  | КАМ-16 | р = 0,25[1 - Ф2(0,9 hб)] |
| Некогерентний | ЧМ-М | р = 0,25(М - 1)exp(-0,5 log2M); М > 2 |

Для двійкових сигналів значення *Р*пом і *р* співпадають. Формули для розрахунку ймовірності помилки символу при передачі двійкових сигналів по гауссовому каналу зв'язку з постійними параметрами наведені в [1, розд. 6.5, 6.6; 2, табл. 15.2].

Оскільки при ЧМ-2, ФМ-2 і ВФМ-2 енергії елементів модульованих сигналів однакові, то в формулах для ймовірності помилки слід *h*2 замінити на . При АМ-2 енергія одного з сигналів дорівнює нулю, тому у відповідних формулах слід *h*2 замінити на 2.

**Виконання розрахунків**

Для заданого виду модуляції та способу прийому необхідно розрахувати і побудувати графік залежності *р* = *f*(). При побудові графіка масштаб для *р* повинен бути логарифмічним, а для значень , виражених у децибелах ( [дБ] = 10lg), – лінійний. При розрахунках збільшують  з кроком 1 дБ, починаючи з 2 дБ, до того, як *р* не виявиться менш значення *р*б. Приклад залежності, що розраховується, даний на рис. 5 – крива *р* = *f*().

Якщо в каналі зв'язку не використовується завадостійке кодування, то допустима ймовірність помилки символу на виході демодулятора дорівнює значенню *р*б, знайденому при розрахунку параметрів ЦАП або декодера простого коду. Визначити необхідне відношення сигнал/шум для системи передачі без кодування , при якому *р* = *р*б. Покажіть на графку значення *р*б і .

**7. ВИБІР КОРЕКТУЮЧОГО КОДУ І РОЗРАХУНОК ЗАВАДОСТІЙКОСТІ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ З КОДУВАННЯМ**

**Вихідні дані для розрахунку:**

- необхідний ЕВК;

- метод модуляції в каналі зв'язку і спосіб прийому;

- тип неперервного каналу зв'язку – з постійними параметрами та адитивним білим гауссовим шумом;

- допустима ймовірність помилки двійкового символу на виході декодера *p*б;

- відношення сигнал/шум на вході демодулятора , що забезпечує допустиму ймовірність помилки *р*б в каналі без завадостійкого кодування;

- тривалість двійкового символу на вході кодера коректуючого коду *Т*б.

**Вимагається:**

- вибрати і обгрунтувати параметри коду, що забезпечує необхідний ЕВК: довжину коду *n*, число інформаційних символів *k* і кратність виправлюваних помилок *qв*;

- розрахувати залежність імовірності помилки символу на виході декодера від відношення сигнал/шум на вході демодулятора *р*д=*f1*() при використанні вибраного коду;

- визначити одержаний ЕВК та порівняти його з необхідним.



**Розрахункові співвідношення**

Коректуючі коди дозволяють підвищити завадостійкість і завдяки цьому зменшити необхідне відношення сигнал/шум на вході демодулятора при заданій імовірності помилки прийнятих символів. Величина, що показує в скільки разів (на скільки децибел) зменшується необхідне відношення сигнал/шум на вході демодулятора, завдяки використанню кодування, називається енергетичним виграшем кодування (ЕВК).

Канали зв'язку з завадостійким кодуванням і без нього зручно порівнювати, якщо в якості відношення сигнал/шум використати відношення середньої енергії сигналів, що витрачається на передачу одного інформаційного символу, до питомої потужності шуму =*РSTб*/*N0*.

Так, якщо в каналі зв'язку без кодування необхідне відношення сигнал/шум для забезпечення заданої ймовірності помилки дорівнює , а в каналі зв'язку з кодуванням – , то ЕВК буде визначатися

Δ=/ або Δ [дБ]=[дБ] – [дБ]. (7.1)

При декодуванні з виправленням помилок імовірність помилкового декодування кодових комбінацій *Р*пд визначається за умови, що число помилок в кодовій комбінації на вході декодера *q* перевищує кратність помилок, що виправляються *q*в [1, формула (5.15)]:

, (7.2)

де *Р*(*q)*=*pq* (1 – *p) n* – *q* (7.3)

– імовірність помилки кратності *q*;

 (7.4)

– число сполучень із *n* по *q*;

*р* – імовірність помилки двійкового символу на вході декодера, розрахунок якої для гауссового каналу зв'язку з постійними параметрами розглянутий в розд. 6.2. В використаних там формулах необхідно замість підставляти *k*/*n –* врахувати зменшення тривалості символів із-за введення в кодові комбінації додаткових символів при кодуванні і відповідне зменшення енергії сигналу на вході демодулятора.

Для переходу від ймовірності *Р*пд до ймовірності помилки двійкового символу на виході декодера *р*д достатньо врахувати принцип виправлення помилок декодером: декодер заборонену кодову комбінацію замінює найближчою дозволеною. Тому, якщо число помилок в комбінації *q* > *q*в, але *q* ≤ *d*min, то в результаті декодування комбінація буде містити *d*min помилок (*d*min – кодова віддаль). Оскільки помилки більш високої кратності малоймовірні, то остаточно можна вважати, що в помилково декодованій комбінації є *d*min помилкових символів. У коректуючих кодів кодова віддаль *d*min ≥ 2*q*в + 1. Оскільки при помилковому декодуванні кодової комбінації 2*q*в + 1 символ із *n* помилковий, то перехід від *Р*пд до *р*д виконується за формулою

*р*д = *Р*пд (2*q*в + 1)/*n*. (7.5)

Зв'язок між основними параметрами двійкових коректуючих кодів *n*, *k* і *q*в встановлює верхня межа Хеммінга

2n – k – 1 ≥ . (7.6)

Для досконалих кодів нерівність (7.6) переходить в рівність і при цьому мінімізується число додаткових символів *n* – *k* при фіксованих значеннях *n* і *q*в. Широке розповсюдження дістали циклічні коди Боуза-Чоудхурі-Хоквінгема (БЧХ). За параметрами вони близькі до досконалих кодів і разом з тим вимагають відносно простих схем кодерів та декодерів. У кодів БЧХ основні параметри пов'язані співвідношеннями:

*k* = *n* – *mq*в, (7.7)

де *m* – найменше ціле, при якому задовольняється нерівність-рівність

*m* ≥ log2(n + 1). (7.7a)

З формул (7.2) – (7.7) слідує, що завадостійкість у каналі зв'язку з кодуванням і ЕВК складним чином залежать від параметрів коду *n*, *k* і *q*в та відношення сигнал/шум . Крім того, один і той же ЕВК може бути досягнутий при різних значеннях *n*, *k* і *q*в.

**Порядок вибору коду БЧХ**

З трьох параметрів коду *n*, *k* і *q*в два можуть бути вибрані незалежно, а третій розрахований за формулою (7.7). Такими незалежними параметрами звичайно є *n* та *q*в. При їхньому виборі слід врахувати:

- з підвищенням *q*в ЕВК збільшується, але при цьому різко зростає складність декодера;

- із зростанням *n* ЕВК збільшується, але при великих *n* (порядку 100) ріст ЕВК уповільнюється, а потім може і зменшуватися.

Тому вибір параметрів коду ведеться підбором, шляхом послідовного переходу від простих кодів до більш складних. Щоб полегшити вибір параметрів коду, на рис. 6 та 7 наведені сімейства залежностей ЕВК від *n* при різних значеннях *q*в. Дані рис. 6 відповідають когерентному прийому, а дані рис. 6 – некогерентному прийому. Для значень *р*д, не наведених на рис. 6 та 7, ЕВК можна оцінити орієнтовно, вважаючи, що ЕВК лінійно залежить від lg*p*д.

Для заданих способу прийому і допустимої ймовірності помилки символу на виході декодера *р*д за допомогою даних рис. 6 або 7 визначається кратність помилок, що виправляються, *q*в і довжина коду *n*, при яких забезпечується задане значення ЕВК. Кожний з цих двох параметрів коду повинен бути якомога меншим, але, оскільки при збільшенні *q*в сильніш, ніж при збільшенні *n*, зростає складність декодера, то, передусім, повинно бути мінімальним значення *q*в. Після визначення значень *n* та *q*в значення *k* визначається за допомогою співвідношень (7.7). Відмітимо, що, на відміну від строгої рівності *n* = 2*m* – 1, довжина коду *n* може приймати будь-які значення, при цьому ціле число *m* визначається за умови 2*m* – 1 – 1 < *n* ≤ 2*m* – 1.

**Перевірка правильності вибору коду**

Знайдені параметри коду *n*, *k* і *q*в слід розглядати як орієнтовні, і правильність вибору коду слід підтвердити розрахунками. Для цього необхідно розрахувати:

1. необхідне відношення сигнал/шум на вході демодулятора в каналі зв'язку з завадостійким кодуванням за формулою (7.1);
2. імовірність помилки символу на виході демодулятора *р* за методикою, яка викладена в розд. 6.2, підставляючи замість  в формулу для розрахунку *р* значення *k*/*n*;
3. імовірність помилкового декодування кодової комбінації *Р*пд за формулами (7.2) – (7.4), у сумі в формулі (7.2) достатньо врахувати першу складову;
4. імовірність помилки символу на виході декодера *p*д за формулою (7.5).

Якщо одержане значення *р*д ≤ *р*б, то вибраний код забезпечує необхідний ЕВК, а якщо *р*д > *р*б, то код не забезпечує необхідний ЕВК.

Необхідно зробити розрахунки для 3 – 5 кодів. Результати розрахунків слід оформити у вигляді таблиці, що містить значення *q*в, *n*, *k*, *p*, *P*пд і *р*д. На основі одержаних даних проводять обгрунтування вибору коду. Найкращим слід вважати код з мінімально можливим *q*в і найменшим при цьому значенні *n*, при яких забезпечується заданий ЕВК, – це мінімізує складність кодека.

Після вибору коду слід розрахувати залежність, що характеризує завадостійкість в каналі зв'язку з коректуючим кодом. Для цього змінюють  в таких межах, щоб величина *р*д приймала значення від 0,1 до значення, що дещо меншза *р*б, будують залежність *р*д=*f*1() (рис. 5), що характеризує завадостійкість в каналі зв'язку з вибраним кодом. По цій залежності визначають необхідне відношення сигнал/шум на вході демодулятора , при якому забезпечується допустима ймовірність помилки символу на виході декодера, тобто *р*д = *р*б. По знайденому значенню  і одержаному при розрахунку завадостійкості демодулятора значенню  визначають ЕВК за формулою (7.1) і порівнюють його з необхідним.

**8. РОЗРАХУНОК ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ**

**Вихідні дані:**

- тип каналу зв'язку – канал з постійними параметрами й адитивним білим гауссовим шумом;

- методи модуляції та параметри, що визначають ширину спектру модульованого сигналу: якщо модуляція дискретна, то – тривалість біта *Т*б, число позицій сигналу *М*, швидкість коду *k*/*n*, якщо модуляція аналогова, то – максимальна частота спектру первинного сигналу *F*max та індекс модуляції *m*чм (при ЧМ);

- відношення сигнал/шум на виході каналу зв'язку, при яких забезпечується задана якість відтворення повідомлення: при дискретній модуляції  і , при аналоговій модуляції ;

- продуктивність джерела повідомлень *R*д.

**Вимагається:**

- розрахувати пропускну здатність каналу зв'язку *С* для всіх розглянутих варіантів передачі та зіставити її значення з продуктивністю джерела повідомлень *R*д;

- розрахувати коефіцієнти інформаційної, частотної та енергетичної ефективності для всіх розглянутих варіантів передачі;

- побудувати графік межі Шеннона;

- порівняти ефективність розглянутих варіантів передачі між собою та з граничною ефективністю.

**Розрахункові співвідношення та порядок розрахунку**

При розрахунках ефективності під каналом зв'язку розуміють сукупність засобів, що забезпечують передачу сигналів від виходу модулятора до входу демодулятора.

Пропускна здатність неперервного каналу зв'язку визначається формулою Шеннона (4.48) в [1]. Смуга пропускання каналу зв'язку *F*к, що входить до цієї формули, приймається рівною ширині спектру модульованого сигналу *Fs*.

При передачі сигналів дискретної модуляції мінімально можлива ширина спектру сигналів визначається межею Найквіста [1, c. 284]: при АМ-*М*, ФМ-*М*, ВФМ-*М* і КАМ-*М*

*Fs* = 1/(*T* log2*M*), (8.1)

а при ЧМ-*M*

*Fs* = *M*/(*T* log2*M*), (8.2)

де *Т* – тривалість двійкового символу на вході модулятора;

*М* – число позицій сигналу.

Якщо в системі передачі відсутнє завадостійке кодування, то значення *Т* дорівнює тривалості двійкового символу *Т*б на виході АЦП або кодера простого коду. Якщо ж використовується завадостійке кодування, то *Т* = *Т*б*k*/*n*, де *n* і *k* - параметри корегуючого коду.

При передачі сигналів аналогової модуляції розрахунок ширини спектру сигналу при АМ, БМ і ОМ дивись [1, с. 220; 2, гл. 3]. Ширина спектру сигналу ЧМ визначається формулою (6.4).

Для визначення відношення сигнал/шум на виході каналу зв'язку *PS*/*N*O по знайденим у розд. 6 і 7 відношенням сигнал/шум слід користуватися співвідношеннями

, (8.3)

, (8.4)

. (8.5)

Пропускну здатність неперервного каналу зв'язку слід розрахувати для всіх розглянутих у курсовій роботі варіантів передачі. Зіставте отримані значення пропускної здатності каналу зв'язку *С* з продуктивністю джерела *R*д, знайдену при розрахунку інформаційних характеристик джерела повідомлень. Що стверджує теорема Шеннона при такому співвідношенні між *R*д та *С* [[1, розд. 4.6]?

Ефективність систем зв'язку оцінюють коефіцієнтами інформаційної, частотної та енергетичної ефективності, що визначаються формулами (10.1) – (10.3) в [1]. Ці формули визначають ефективність використання відповідно пропускної здатності каналу зв'язку *С*, смуги пропускання каналу зв'язку *F*к і відношення сигнал/шум *Р*s/*N*0 на виході каналу зв'язку при заданих методі передачі та якості відтворення повідомлення, що передається.

Для розрахунків ефективності швидкість передачі інформації *R*к можна прийняти рівною продуктивності джерела *R*д – при тій якості відтворення повідомлень, яка має місце в розраховуваній системі зв'язку, втратами інформації в каналі зв'язку можна знехтувати.

Коефіцієнти ефективності слід розрахувати для всіх варіантів передачі, результати розрахунків *F*к, *Рs*/*N*0, *С*, η,γ і β слід представити таблицею.

Необхідно розрахувати і побудувати графік граничної залежності β = *f*(γ) – межа Шеннона [1, рис. 10.1]. Значення β і γ відкладають у логарифмічних одиницях – відповідно 10lgβ і 10lgγ. На цьому рисунку подати точками з координатами β і γ всі розглянуті варіанти передачі.

Зіставте ефективність розглянутих варіантів передачі між собою та з граничною ефективністю. Порівняння виконуються роздільно за коефіцієнтами β і за коефіцієнтами γ. Вкажіть способи підвищення енергетичної та частотної ефективності.

**ЗАКЛЮЧЕННЯ ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ**

Викласти стисло перелік виконаних розрахунків. Зазначте, чи відповідають виконані розрахунки вихідним даним і завданню на КР, а якщо ні, то які розрахунки і чому не відповідають завданню.

Вкажіть переваги і недоліки розглянутих варіантів передачі. Який з розглянутих варіантів передачі, на Ваш погляд, є більш прийнятним для використання в реальній системі зв'язки і чому?

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. **Теория передачи сигналов**: Учебник для вузов / А. Г. Зюко и др. - М.: Радио и связь, 1986.

2. **Панфилов И. П., Дырда В. Е.**. Теория электрической связи: Учебник для техникумов. - М.: Радио и связь, 1991.

Додаток 1

**Таблиця Д.1 – Вихідні дані для виконання КР варіанту А**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Параметри джерела повідом. | | | | , | Метод | Параметри системи цифрової перед. | | | | | | |
| варі-  анту | Розподіл  імовірн. | Pb,  В2 | Ка | Fmax,  кГц | дБ | моду-ляції | ,  дБ | | Метод  модуляції | Спосіб  прийому | | ЕВК,  дБ | |
| А-00 | ГР | 0,1 | 3 | 6,5 | 40 | АМ | 43 | | ЧМ-2 | когерен. | | 1,5 | |
| А-01 | ДЕР | 0,3 | 4 | 8,0 | 37 | ЧМ | 40 | | ЧМ-2 | некогер. | | 1,2 | |
| А-02 | РР | 0,5 | \* | 2,4 | 38 | БМ | 41 | | ФМ-2 | когерен. | | 2,8 | |
| А-03 | ГР | 0,7 | 5 | 2,7 | 36 | ЧМ | 39 | | ВФМ-2 | когерен. | | 1,5 | |
| А-04 | ДЕР | 0,9 | 6 | 3,5 | 34 | БМ | 37 | | ВФМ-2 | некогер. | | 2,7 | |
| А-05 | РР | 1,2 | \* | 5000 | 44 | ОМ | 47 | | ФМ-4 | когерен. | | 1,6 | |
| А-06 | ГР | 1,5 | 7 | 2,5 | 33 | ЧМ | 36 | | ВФМ-4 | когерен. | | 2,2 | |
| А-07 | ДЕР | 1,8 | 8 | 12 | 31 | АМ | 34 | | ЧМ-4 | некогер. | | 1,3 | |
| А-08 | РР | 2,0 | \* | 3500 | 50 | ОМ | 53 | | ЧМ-8 | некогер. | | 2,6 | |
| А-09 | ГР | 2,5 | 3 | 14 | 46 | ЧМ | 49 | | КАМ-16 | когерен. | | 1,5 | |
| А-10 | ДЕР | 2,8 | 4 | 18 | 43 | БМ | 46 | | ФМ-4 | когерен. | | 2,3 | |
| А-11 | РР | 3,0 | \* | 800 | 38 | ОМ | 41 | | АМ-2 | когерен. | | 1,2 | |
| А-12 | ГР | 0,2 | 5 | 12,5 | 42 | ЧМ | 45 | | АМ-2 | некогер. | | 2,3 | |
| А-13 | ДЕР | 0,4 | 6 | 15 | 40 | АМ | 43 | | ЧМ-2 | когерен. | | 1,4 | |
| А-14 | РР | 0,6 | \* | 1,6 | 44 | ЧМ | 47 | | ЧМ-2 | некогер. | | 2,5 | |
| А-15 | ГР | 0,8 | 7 | 4,5 | 39 | БМ | 42 | | ФМ-2 | когерен. | | 1,3 | |
| А-16 | ДЕР | 1,0 | 8 | 7,0 | 37 | ЧМ | 40 | | ВФМ-2 | когерен. | | 2,3 | |
| А-17 | РР | 1,1 | \* | 0,8 | 50 | ОМ | 53 | | ВФМ-2 | некогер. | | 1,1 | |
| А-18 | ГР | 1,3 | 3 | 7,5 | 40 | ЧМ | 43 | | ФМ-4 | когерен. | | 2,1 | |
| А-19 | ДЕР | 1,4 | 4 | 9,5 | 39 | АМ | 42 | | ВФМ-4 | когерен. | | 1,2 | |
| А-20 | РР | 1,6 | \* | 100 | 38 | ОМ | 41 | | ЧМ-4 | некогер. | | 1,8 | |
| А-21 | ГР | 2,2 | 5 | 11 | 36 | ЧМ | 39 | | ЧМ-8 | некогер. | | 1,4 | |
| А-22 | ДЕР | 2,4 | 6 | 8,5 | 34 | БМ | 37 | | КАМ-16 | когерен. | | 3,3 | |
| А-23 | РР | 2,6 | \* | 0,1 | 44 | ЧМ | 47 | | ФМ-4 | когерен. | | 1,4 | |
| А-24 | ГР | 1,9 | 7 | 2,5 | 33 | АМ | 36 | | АМ-2 | когерен. | | 2,6 | |
| А-25 | ДЕР | 0,1 | 8 | 2,7 | 31 | ЧМ | 34 | | АМ-2 | некогер. | | 1,5 | |
| А-26 | РР | 0,3 | \* | 22 | 50 | ОМ | 53 | | ЧМ-2 | когерен. | | 2,9 | |
| А-27 | ГР | 0,5 | 4 | 2,5 | 43 | ЧМ | 46 | | ЧМ-2 | некогер. | | 1,6 | |
| А-28 | ДЕР | 0,7 | 5 | 12 | 42 | БМ | 45 | | ФМ-2 | когерен. | | 2,4 | |
| А-29 | РР | 0,9 | \* | 110 | 38 | ОМ | 41 | | ВФМ-2 | когерен. | | 1,5 | |
| А-30 | ГР | 1,1 | 6 | 14 | 40 | ЧМ | 43 | | ВФМ-2 | некогер. | | 2,0 | |
| А-31 | ДЕР | 1,3 | 7 | 12,5 | 39 | АМ | 42 | | ФМ-4 | когерен. | | 1,7 | |
| А-32 | РР | 1,5 | \* | 0,1 | 44 | ЧМ | 47 | | ВФМ-4 | когерен. | | 2,8 | |
| А-33 | ГР | 1,7 | 8 | 15 | 37 | БМ | 40 | | ЧМ-4 | некогер. | | 1,2 | |
| А-34 | ДЕР | 1,9 | 3 | 4,5 | 40 | ЧМ | 43 | | ЧМ-8 | некогер. | | 1,4 | |
| А-35 | РР | 2,1 | \* | 180 | 50 | ОМ | 53 | | КАМ-16 | когерен. | | 2,6 | |
| А-36 | ГР | 2,3 | 4 | 7,0 | 37 | ЧМ | 40 | | ФМ-4 | когерен. | | 1,8 | |
| А-37 | ДЕР | 2,5 | 5 | 7,5 | 36 | АМ | 39 | | АМ-2 | когерен. | | 2,0 | |
| А-38 | РР | 2,7 | \* | 56 | 38 | ОМ | 41 | | АМ-2 | некогер. | | 1,8 | |
| А-39 | ГР | 2,9 | 6 | 9,5 | 34 | ЧМ | 37 | | ЧМ-2 | когерен. | | 2,0 | |
| А-40 | ДЕР | 0,2 | 7 | 11 | 33 | БМ | 36 | | ЧМ-2 | некогер. | | 1,3 | |
| А-41 | РР | 0,4 | \* | 44 | 44 | ОМ | 47 | | ФМ-2 | когерен. | | 3,6 | |
| А-42 | ГР | 0,6 | 8 | 8,5 | 31 | ЧМ | 34 | | ВФМ-2 | когерен. | | 2,3 | |
| А-43 | ДЕР | 0,8 | 3 | 2,5 | 46 | АМ | 49 | | ВФМ-2 | некогер. | | 1,8 | |
| А-44 | РР | 1,0 | \* | 95 | 50 | ОМ | 53 | | ФМ-4 | когерен. | | 2,2 | |
| А-45 | ГР | 1,2 | 4 | 2,7 | 43 | ЧМ | 46 | | ВФМ-4 | когерен. | | 2,7 | |
| А-46 | ДЕР | 1,4 | 5 | 2,5 | 42 | БМ | 45 | | ЧМ-4 | некогер. | | 1,9 | |
| А-47 | РР | 1,6 | \* | 120 | 38 | ОМ | 41 | | ЧМ-8 | некогер. | | 1,7 | |
| А-48 | ГР | 1,8 | 6 | 12 | 40 | ЧМ | 43 | | КАМ-16 | когерен. | | 2,6 | |
| А-49 | ДЕР | 2,0 | 7 | 14 | 39 | АМ | 42 | | ФМ-4 | когерен. | | 2,9 | |
| А-50 | РР | 2,2 | \* | 144 | 44 | 0М | 47 | АМ-2 | | | когерен. | | 1,5 |
| А-51 | ГР | 2,4 | 3,5 | 22 | 39 | 0М | 42 | АМ-2 | | | некогер. | | 2,1 |
| А-52 | ДЕР | 2,6 | 3,5 | 1,5 | 45 | ЧМ | 48 | ЧМ-2 | | | когерен. | | 1,6 |
| А-53 | РР | 2,8 | \* | 380 | 50 | ОМ | 53 | ЧМ-2 | | | некогер. | | 1,8 |
| А-54 | ГР | 3,0 | 4,5 | 2,7 | 36 | ЧМ | 39 | ФМ-2 | | | когерен. | | 1,4 |
| А-55 | ДЕР | 0,01 | 4,5 | 7,4 | 42 | АМ | 45 | ВФМ-2 | | | когерен. | | 2,6 |
| А-56 | РР | 0,1 | \* | 500 | 38 | ОМ | 41 | ВФМ-2 | | | некогер. | | 1,1 |
| А-57 | ГР | 0,02 | 5,5 | 16 | 35 | ЧМ | 38 | ФМ-4 | | | когерен. | | 2,3 |
| А-58 | ДЕР | 0,2 | 5,5 | 12,5 | 41 | БМ | 44 | ВФМ-4 | | | когерен. | | 1,3 |
| А-59 | РР | 0,03 | \* | 0,24 | 44 | ЧМ | 47 | ЧМ-4 | | | некогер. | | 1,7 |
| А-60 | ГР | 0,3 | 6,5 | 15 | 33 | АМ | 36 | ЧМ-8 | | | некогер. | | 1,1 |
| А-61 | ДЕР | 0,04 | 6,5 | 2,8 | 39 | ЧМ | 42 | КАМ-16 | | | когерен. | | 3,1 |
| А-62 | РР | 0,4 | \* | 12 | 50 | ОМ | 53 | ФМ-4 | | | когерен. | | 1,8 |
| А-63 | ГР | 0,05 | 7,5 | 3,3 | 32 | ЧМ | 35 | АМ-2 | | | когерен. | | 2,7 |
| А-64 | ДЕР | 0,5 | 7,5 | 4,4 | 38 | БМ | 41 | АМ-2 | | | некогер. | | 1,5 |
| А-65 | РР | 0,06 | \* | 300 | 38 | ОМ | 41 | ЧМ-2 | | | когерен. | | 2,5 |
| А-66 | ГР | 0,6 | 8 | 5,5 | 31 | ЧМ | 34 | ЧМ-2 | | | некогер. | | 1,6 |
| А-67 | ДЕР | 0,07 | 8 | 6,5 | 37 | АМ | 40 | ФМ-2 | | | когерен. | | 2,2 |
| А-68 | РР | 0,7 | \* | 9,6 | 44 | ЧМ | 47 | ВФМ-2 | | | когерен. | | 2,7 |
| А-69 | ГР | 0,08 | 3,5 | 4,3 | 45 | БМ | 48 | ВФМ-2 | | | некогер. | | 2,0 |
| А-70 | ДЕР | 0,8 | 4,5 | 7,5 | 42 | ЧМ | 45 | ФМ-4 | | | когерен. | | 2,4 |
| А-71 | РР | 0,09 | \* | 10,2 | 50 | ОМ | 53 | ВФМ-4 | | | когерен. | | 2,8 |
| А-72 | ГР | 0,9 | 5,5 | 4,8 | 42 | ЧМ | 45 | ЧМ-4 | | | некогер. | | 2,1 |
| А-73 | ДЕР | 0,1 | 6,5 | 5,2 | 39 | АМ | 42 | ЧМ-8 | | | некогер. | | 1,9 |
| А-74 | РР | 1,0 | \* | 1,5 | 38 | ЧМ | 41 | КАМ-16 | | | когерен. | | 2,3 |
| А-75 | ГР | 0,12 | 7,5 | 3,6 | 38 | БМ | 41 | ФМ-4 | | | когерен. | | 2,5 |
| А-76 | ДЕР | 1,2 | 8 | 10,0 | 31 | ЧМ | 34 | АМ-2 | | | когерен. | | 2,7 |
| А-77 | РР | 0,15 | \* | 240 | 44 | ОМ | 47 | АМ-2 | | | некогер. | | 1,8 |
| А-78 | ГР | 1,5 | 6 | 4,5 | 40 | ЧМ | 43 | ЧМ-2 | | | когерен. | | 2,0 |
| А-79 | ДЕР | 0,2 | 3 | 5,6 | 46 | АМ | 49 | ЧМ-2 | | | некогер. | | 1,6 |
| А-80 | РР | 2,0 | \* | 480 | 50 | ОМ | 53 | ФМ-2 | | | когерен. | | 2,2 |
| А-81 | ГР | 0,25 | 4 | 11 | 37 | ЧМ | 40 | ВФМ-2 | | | когерен. | | 2,3 |
| А-82 | ДЕР | 2,5 | 5,5 | 14 | 35 | БМ | 38 | ВФМ-2 | | | некогер. | | 1,8 |
| А-83 | РР | 0,3 | \* | 75 | 38 | ОМ | 41 | ФМ-4 | | | когерен. | | 1,6 |
| А-84 | ГР | 3,0 | 6,5 | 2,6 | 39 | ЧМ | 42 | ВФМ-4 | | | когерен. | | 2,6 |
| А-85 | ДЕР | 0,35 | 7,5 | 6,5 | 38 | АМ | 41 | ЧМ-4 | | | некогер. | | 1,5 |
| А-86 | РР | 0,65 | \* | 68 | 44 | ОМ | 47 | ЧМ-8 | | | некогер. | | 2,0 |
| А-87 | ГР | 0,4 | 6,5 | 16 | 33 | ЧМ | 36 | КАМ-16 | | | когерен. | | 2,6 |
| А-88 | ДЕР | 0,7 | 5,5 | 6,3 | 35 | БМ | 38 | ФМ-4 | | | когерен. | | 2,3 |
| А-89 | РР | 0,45 | \* | 18 | 50 | ЧМ | 53 | АМ-2 | | | когерен. | | 1,7 |
| А-90 | ГР | 0,75 | 3,5 | 8,2 | 45 | АМ | 48 | АМ-2 | | | некогер. | | 1,3 |
| А-91 | ДЕР | 0,5 | 8 | 18 | 31 | ЧМ | 34 | ЧМ-2 | | | когерен. | | 1,8 |
| А-92 | РР | 0,8 | \* | 72 | 38 | ОМ | 41 | ЧМ-2 | | | некогер. | | 1,5 |
| А-93 | ГР | 0,55 | 4,5 | 6,4 | 36 | ЧМ | 39 | ФМ-2 | | | когерен. | | 2,8 |
| А-94 | ДЕР | 0,85 | 6,0 | 12 | 40 | БМ | 43 | ВФМ-2 | | | когерен. | | 3,1 |
| А-95 | РР | 0,6 | \* | 0,6 | 44 | ЧМ | 47 | ВФМ-2 | | | некогер. | | 2,4 |
| А-96 | ГР | 0,9 | 7,0 | 2,75 | 39 | АМ | 39 | ФМ-4 | | | когерен. | | 2,7 |
| А-97 | ДЕР | 0,65 | 3,0 | 13 | 40 | ЧМ | 43 | ВФМ-4 | | | когерен. | | 2,0 |
| А-98 | РР | 0,95 | \* | 2,4 | 50 | ОМ | 53 | ЧМ-4 | | | некогер. | | 1,8 |
| А-99 | ГР | 0,7 | 5,0 | 14,5 | 42 | ЧМ | 45 | ЧМ-8 | | | некогер. | | 1,6 |

\* – при рівномірному розподілі ймовірностей *К*а = 

Додаток 2

**Таблиця Д.2 – Вихідні дані для виконання КР варіанту Ц**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер | Параметри джерела повідомлень | | | | , | , | Метод | Спосіб | ЕВК, |
| варі-  анту | Розподіл  імовірн. | Pb,  В2 | Ка | Fmax,  кГц | дБ | дБ | модуляції | прийому | дБ |
| Ц-00 | ГР | 3,0 | 5 | 6,5 | 36 | 39 | АМ-2 | когерен. | 1,2 |
| Ц-01 | ДЕР | 1,2 | 8 | 12 | 31 | 34 | АМ-2 | некогер. | 1,6 |
| Ц-02 | РР | 2,5 | \* | 2,4 | 38 | 41 | ЧМ-2 | некогер. | 1,5 |
| Ц-03 | ГР | 0,1 | 5 | 6,5 | 42 | 45 | ЧМ-2 | когерен. | 1,2 |
| Ц-04 | ДЕР | 0,3 | 5,5 | 8,0 | 42 | 45 | ФМ-2 | когерен. | 2,8 |
| Ц-05 | РР | 0,5 | \* | 2,4 | 44 | 47 | ВФМ-2 | когерен. | 2,6 |
| Ц-06 | ГР | 0,7 | 3 | 2,7 | 40 | 43 | ВФМ-2 | некогер. | 2,0 |
| Ц-07 | ДЕР | 0,9 | 4 | 3,5 | 37 | 40 | ФМ-4 | когерен. | 2,2 |
| Ц-08 | РР | 1,2 | \* | 5000 | 50 | 53 | ВФМ-4 | когерен. | 3,0 |
| Ц-09 | ГР | 1,5 | 3,5 | 2,5 | 39 | 42 | ЧМ-4 | некогер. | 1,5 |
| Ц-10 | ДЕР | 1,8 | 4,5 | 12 | 36 | 39 | ЧМ-8 | некогер. | 1,7 |
| Ц-11 | РР | 2,0 | \* | 3500 | 38 | 41 | КАМ-16 | когерен. | 2,3 |
| Ц-12 | ГР | 2,5 | 4,5 | 14 | 42 | 45 | ФМ-4 | когерен. | 2,5 |
| Ц-13 | ДЕР | 2,8 | 6,5 | 18 | 33 | 36 | АМ-2 | когерен. | 2,7 |
| Ц-14 | РР | 3,0 | \* | 800 | 44 | 47 | АМ-2 | некогер. | 1,9 |
| Ц-15 | ГР | 0,2 | 7 | 12,5 | 39 | 42 | ЧМ-2 | когерен. | 3,0 |
| Ц-16 | ДЕР | 0,4 | 8 | 15 | 37 | 40 | ЧМ-2 | некогер. | 2,0 |
| Ц-17 | РР | 0,6 | \* | 1,6 | 50 | 53 | ФМ-2 | когерен. | 3,2 |
| Ц-18 | ГР | 0,8 | 3,5 | 4,5 | 45 | 48 | ВФМ-2 | когерен. | 3,4 |
| Ц-19 | ДЕР | 1,0 | 4,5 | 7,0 | 36 | 39 | ВФМ-2 | некогер. | 2,2 |
| Ц-20 | РР | 1,1 | \* | 0,8 | 38 | 41 | ФМ-4 | когерен. | 3,6 |
| Ц-21 | ГР | 1,3 | 5,5 | 7,5 | 42 | 45 | ВФМ-4 | когерен. | 1,8 |
| Ц-22 | ДЕР | 1,4 | 6,5 | 9,5 | 37 | 40 | ЧМ-4 | некогер. | 1,1 |
| Ц-23 | РР | 1,6 | \* | 100 | 44 | 47 | ЧМ-8 | некогер. | 1,2 |
| Ц-24 | ГР | 2,2 | 4,5 | 11 | 42 | 45 | КАМ-16 | когерен. | 2,0 |
| Ц-25 | ДЕР | 2,4 | 6,5 | 8,5 | 33 | 36 | ФМ-4 | когерен. | 2,2 |
| Ц-26 | РР | 2,6 | \* | 0,1 | 50 | 53 | АМ-2 | когерен. | 2,5 |
| Ц-27 | ГР | 1,9 | 3,5 | 2,5 | 45 | 48 | АМ-2 | некогер. | 1,3 |
| Ц-28 | ДЕР | 0,1 | 3 | 2,7 | 46 | 49 | ЧМ-2 | когерен. | 2,4 |
| Ц-29 | РР | 0,3 | \* | 22 | 38 | 41 | ЧМ-2 | некогер. | 1,8 |
| Ц-30 | ГР | 0,5 | 3,5 | 2,5 | 39 | 42 | ФМ-2 | когерен. | 3,4 |
| Ц-31 | ДЕР | 0,7 | 4,5 | 12 | 42 | 45 | ВФМ-2 | когерен. | 3,0 |
| Ц-32 | РР | 0,9 | \* | 110 | 44 | 47 | ВФМ-2 | некогер. | 1,3 |
| Ц-33 | ГР | 1,1 | 4,5 | 14 | 36 | 39 | ФМ-4 | когерен. | 3,5 |
| Ц-34 | ДЕР | 1,3 | 7 | 12,5 | 39 | 42 | ВФМ-4 | когерен. | 3,5 |
| Ц-35 | РР | 1,5 | \* | 0,1 | 50 | 53 | ЧМ-4 | некогер. | 1,6 |
| Ц-36 | ГР | 1,7 | 8 | 15 | 37 | 40 | ЧМ-8 | некогер. | 1,7 |
| Ц-37 | ДЕР | 1,9 | 3,5 | 4,5 | 45 | 48 | КАМ-16 | когерен. | 1,7 |
| Ц-38 | РР | 2,1 | \* | 180 | 38 | 41 | ФМ-4 | когерен. | 1,9 |
| Ц-39 | ГР | 2,3 | 4,5 | 7,0 | 36 | 39 | АМ-2 | когерен. | 2,0 |
| Ц-40 | ДЕР | 2,5 | 5,5 | 7,5 | 42 | 45 | АМ-2 | некогер. | 1,2 |
| Ц-41 | РР | 2,7 | \* | 56 | 44 | 47 | ЧМ-2 | когерен. | 2,3 |
| Ц-42 | ГР | 2,9 | 6,5 | 9,5 | 39 | 42 | ЧМ-2 | некогер. | 1,4 |
| Ц-43 | ДЕР | 0,2 | 4,5 | 11 | 36 | 39 | ФМ-2 | когерен. | 2,5 |
| Ц-44 | РР | 0,4 | \* | 44 | 50 | 53 | ВФМ-2 | когерен. | 2,7 |
| Ц-45 | ГР | 0,6 | 6,5 | 8,5 | 33 | 36 | ВФМ-2 | некогер. | 1,5 |
| Ц-46 | ДЕР | 3,5 | 0,8 | 2,5 | 45 | 48 | ФМ-4 | когерен. | 2,8 |
| Ц-47 | РР | 1,0 | \* | 95 | 44 | 47 | ВФМ-4 | когерен. | 3,0 |
| Ц-48 | ГР | 1,2 | 3 | 2,7 | 40 | 43 | ЧМ-4 | некогер. | 1,6 |
| Ц-49 | ДЕР | 1,4 | 3,5 | 2,5 | 45 | 48 | ЧМ-8 | некогер. | 1,8 |
| Ц-50 | РР | 1,6 | \* | 120 | 50 | 53 | КАМ-16 | когерен. | 1,7 |
| Ц-51 | ГР | 1,8 | 4,5 | 12 | 36 | 39 | ФМ-4 | когерен. | 2,7 |
| Ц-52 | ДЕР | 2,0 | 4,5 | 14 | 42 | 45 | АМ-2 | когерен. | 2,8 |
| Ц-53 | РР | 2,2 | \* | 144 | 38 | 41 | АМ-2 | некогер. | 1,9 |
| Ц-54 | ГР | 2,4 | 3,5 | 22 | 39 | 42 | ЧМ-2 | когерен. | 2,4 |
| Ц-55 | ДЕР | 2,6 | 3,5 | 1,5 | 45 | 48 | ЧМ-2 | некогер. | 1,4 |
| Ц-56 | РР | 2,8 | \* | 380 | 44 | 47 | ФМ-2 | когерен. | 2,5 |
| Ц-57 | ГР | 3,0 | 4,5 | 2,7 | 36 | 39 | ВФМ-2 | когерен. | 2,7 |
| Ц-58 | ДЕР | 0,01 | 4,5 | 7,4 | 42 | 45 | ВФМ-2 | некогер. | 1,8 |
| Ц-59 | РР | 0,1 | \* | 500 | 50 | 53 | ФМ-4 | когерен. | 2,8 |
| Ц-60 | ГР | 0,02 | 5,5 | 16 | 35 | 38 | ВФМ-4 | когерен. | 3,0 |
| Ц-61 | ДЕР | 0,2 | 5,5 | 12,5 | 41 | 44 | ЧМ-4 | некогер. | 2,0 |
| Ц-62 | РР | 0,03 | \* | 0,24 | 38 | 41 | ЧМ-8 | некогер. | 2,0 |
| Ц-63 | ГР | 0,3 | 6,5 | 15 | 39 | 42 | КАМ-16 | когерен. | 2,6 |
| Ц-64 | ДЕР | 0,04 | 7,0 | 2,8 | 39 | 42 | ФМ-4 | когерен. | 1,8 |
| Ц-65 | РР | 0,4 | \* | 12 | 44 | 47 | АМ-2 | когерен. | 1,8 |
| Ц-66 | ГР | 0,05 | 7,5 | 3,3 | 32 | 35 | АМ-2 | некогер. | 1,5 |
| Ц-67 | ДЕР | 0,5 | 8,0 | 4,4 | 31 | 34 | ЧМ-2 | когерен. | 2,5 |
| Ц-68 | РР | 0,06 | \* | 300 | 50 | 53 | ЧМ-2 | некогер. | 1,2 |
| Ц-69 | ГР | 0,6 | 5 | 5,5 | 42 | 45 | ФМ-2 | когерен. | 2,8 |
| Ц-70 | ДЕР | 0,07 | 9,0 | 6,5 | 30 | 33 | ВФМ-2 | когерен. | 2,2 |
| Ц-71 | РР | 0,7 | \* | 9,6 | 38 | 41 | ВФМ-2 | некогер. | 3,0 |
| Ц-72 | ГР | 0,08 | 3,5 | 4,3 | 45 | 48 | ФМ-4 | когерен. | 2,1 |
| Ц-73 | ДЕР | 0,8 | 4,5 | 7,5 | 42 | 45 | ВФМ-4 | когерен. | 2,4 |
| Ц-74 | РР | 0,09 | \* | 10,2 | 44 | 47 | ЧМ-4 | некогер. | 1,6 |
| Ц-75 | ГР | 0,9 | 5,5 | 4,8 | 42 | 45 | ЧМ-8 | некогер. | 2,0 |
| Ц-76 | ДЕР | 0,1 | 6,5 | 5,2 | 39 | 42 | КАМ-16 | когерен. | 3,0 |
| Ц-77 | РР | 1,0 | \* | 1,5 | 50 | 53 | ФМ-4 | когерен. | 2,8 |
| Ц-78 | ГР | 0,12 | 7,5 | 3,6 | 38 | 41 | АМ-2 | когерен. | 1,6 |
| Ц-79 | ДЕР | 1,2 | 8,0 | 10,0 | 37 | 40 | АМ-2 | некогер. | 1,2 |
| Ц-80 | РР | 0,15 | \* | 240 | 38 | 41 | ЧМ-2 | когерен. | 1,8 |
| Ц-81 | ГР | 1,5 | 8,5 | 4,5 |  | 3639 | ЧМ-2 | некогер. | 1,4 |
| Ц-82 | ДЕР | 0,2 | 3 | 5,6 | 46 | 49 | ФМ-2 | когерен. | 2,3 |
| Ц-83 | РР | 2,0 | \* | 480 | 44 | 47 | ВФМ-2 | когерен. | 2,7 |
| Ц-84 | ГР | 0,25 | 4,5 | 11 | 36 | 39 | ВФМ-2 | некогер. | 2,1 |
| Ц-85 | ДЕР | 2,5 | 5,5 | 14 | 35 | 38 | ФМ-4 | когерен. | 3,0 |
| Ц-86 | РР | 0,3 | \* | 75 | 50 | 53 | ВФМ-4 | когерен. | 2,0 |
| Ц-87 | ГР | 3,0 | 6,5 | 2,6 | 33 | 36 | ЧМ-4 | некогер. | 2,0 |
| Ц-88 | ДЕР | 0,35 | 7,5 | 6,5 | 38 | 41 | ЧМ-8 | некогер. | 1,3 |
| Ц-89 | РР | 0,65 | \* | 68 | 38 | 41 | КАМ-16 | когерен. | 2,5 |
| Ц-90 | ГР | 0,4 | 6,5 | 16 | 39 | 42 | ФМ-4 | когерен. | 2,8 |
| Ц-91 | ДЕР | 0,7 | 5,5 | 6,3 | 42 | 45 | АМ-2 | когерен. | 1,6 |
| Ц-92 | РР | 0,45 | \* | 18 | 44 | 47 | АМ-2 | некогер. | 1,2 |
| Ц-93 | ГР | 0,75 | 4 | 8,2 | 37 | 40 | ЧМ-2 | когерен. | 1,8 |
| Ц-94 | ДЕР | 0,5 | 8 | 18 | 31 | 34 | ЧМ-2 | некогер. | 1,4 |
| Ц-95 | РР | 0,8 | \* | 72 | 50 | 53 | ФМ-2 | когерен. | 2,0 |
| Ц-96 | ГР | 0,55 | 4,5 | 6,4 | 42 | 45 | ВФМ-2 | когерен. | 2,3 |
| Ц-97 | ДЕР | 0,85 | 6,0 | 12 | 40 | 43 | ВФМ-2 | некогер. | 2,0 |
| Ц-98 | РР | 0,6 | \* | 0,6 | 38 | 41 | ФМ-4 | когерен. | 2,6 |
| Ц-99 | ГР | 0,9 | 7,0 | 2,75 | 39 | 42 | ВФМ-4 | когерен. | 2,8 |

**\* – при рівномірному розподілі ймовірностей *К*а =** 

**Додаток 3**

**Таблиця Д.3 – Вихідні дані для виконання КР варіанту Д**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер  варіанту | Джерело  повідомлень | Рзн | В,  Бод | Метод  модуляції | Спосіб  прийому | ЕВК,  дБ |
| Д-00 | Ма = 32 | 1Е-7 | 50 | АМ-2 | когерент. | 1,6 |
| Д-01 | український текст | 2Е-7 | 9600 | АМ-2 | некогер. | 2,8 |
| Д-02 | Ма = 64 | 3Е-7 | 4800 | ЧМ-2 | когерент. | 1,5 |
| Д-03 | російський текст | 4Е-7 | 2400 | ЧМ-2 | некогер. | 2,7 |
| Д-04 | Ма = 128 | 7Е-7 | 1200 | ФМ-2 | когерент. | 1,6 |
| Д-05 | англійський текст | 1Е-6 | 600 | ВФМ-2 | когерент. | 2,2 |
| Д-06 | Ма = 32 | 2Е-6 | 300 | ВФМ-2 | некогер. | 1,3 |
| Д-07 | український текст | 2Е-6 | 200 | ФМ-4 | когерент. | 2,6 |
| Д-08 | Ма = 64 | 3Е-6 | 150 | ВФМ-4 | когерент. | 1,5 |
| Д-09 | російський текст | 4Е-6 | 100 | ЧМ-4 | некогер. | 2,3 |
| Д-10 | Ма = 128 | 7Е-6 | 75 | ЧМ-8 | некогер. | 1,2 |
| Д-11 | англійський текст | 1Е-5 | 50 | КАМ-16 | когерент. | 2,3 |
| Д-12 | Ма = 32 | 2Е-5 | 9600 | ФМ-4 | когерент. | 1,35 |
| Д-13 | український текст | 2Е-5 | 4800 | АМ-2 | когерент. | 2,5 |
| Д-14 | Ма = 64 | 3Е-5 | 2400 | АМ-2 | некогер. | 1,25 |
| Д-15 | російський текст | 4Е-5 | 1200 | ЧМ-2 | когерент. | 2,3 |
| Д-16 | Ма = 128 | 7Е-5 | 600 | ЧМ-2 | некогер. | 1,1 |
| Д-17 | англійський текст | 5Е-5 | 300 | ФМ-2 | когерент. | 2,1 |
| Д-18 | Ма = 32 | 1Е-4 | 200 | ВФМ-2 | когерент. | 1,2 |
| Д-19 | український текст | 2Е-4 | 150 | ВФМ-2 | некогер. | 1,8 |
| Д-20 | Ма = 64 | 2Е-7 | 100 | ФМ-4 | когерент. | 1,6 |
| Д-21 | російський текст | 2Е-7 | 75 | ВФМ-4 | когерент. | 3,3 |
| Д-22 | Ма = 128 | 4Е-7 | 50 | ЧМ-4 | некогер. | 1,35 |
| Д-23 | англійський текст | 4Е-7 | 9600 | ЧМ-8 | некогер. | 2,6 |
| Д-24 | Ма = 32 | 5Е-7 | 4800 | КАМ-16 | когерент. | 1,5 |
| Д-25 | український текст | 1Е-6 | 2400 | ФМ-4 | когерент. | 3,1 |
| Д-26 | Ма = 64 | 2Е-6 | 1200 | АМ-2 | когерент. | 1,55 |
| Д-27 | російський текст | 2Е-6 | 600 | АМ-2 | некогер. | 2,4 |
| Д-28 | Ма = 128 | 4Е-6 | 300 | ЧМ-2 | когерент. | 1,45 |
| Д-29 | англійський текст | 5Е-6 | 200 | ЧМ-2 | некогер. | 1,65 |
| Д-30 | Ма = 32 | 4Е-6 | 150 | ФМ-2 | когерент. | 2,0 |
| Д-31 | український текст | 1Е-5 | 100 | ВФМ-2 | когерент. | 2,8 |
| Д-32 | Ма = 64 | 2Е-5 | 75 | ВФМ-2 | некогер. | 1,15 |
| Д-33 | російський текст | 2Е-5 | 50 | ФМ-4 | когерент. | 2,6 |
| Д-34 | Ма = 128 | 4Е-5 | 9600 | ВФМ-4 | когерент. | 1,35 |
| Д-35 | англійський текст | 4Е-5 | 4800 | ЧМ-4 | некогер. | 1,8 |
| Д-36 | Ма = 32 | 5Е-5 | 2400 | ЧМ-8 | некогер. | 1,1 |
| Д-37 | український текст | 8Е-5 | 1200 | КАМ-16 | когерент. | 2,0 |
| Д-38 | Ма = 64 | 1Е-4 | 400 | ФМ-4 | когерент. | 1,25 |
| Д-39 | російський текст | 2Е-7 | 700 | АМ-2 | когерент. | 3,6 |
| Д-40 | Ма = 128 | 3Е-7 | 700 | АМ-2 | некогер. | 1,4 |
| Д-41 | англійський текст | 3Е-7 | 750 | ЧМ-2 | когерент. | 3,3 |
| Д-42 | Ма = 32 | 4Е-7 | 700 | ЧМ-2 | некогер. | 1,35 |
| Д-43 | український текст | 9Е-7 | 775 | ФМ-2 | когерент. | 3,1 |
| Д-44 | Ма = 64 | 2Е-6 | 50 | ВФМ-2 | когерент. | 1,65 |
| Д-45 | російський текст | 2Е-6 | 9600 | ВФМ-2 | некогер. | 2,6 |
| Д-46 | Ма = 128 | 3Е-6 | 4800 | ФМ-4 | когерент. | 1,75 |
| Д-47 | англійський текст | 3Е-6 | 2400 | ВФМ-4 | когерент. | 2,9 |
| Д-48 | Ма = 32 | 3Е-6 | 1200 | ЧМ-4 | некогер. | 1,2 |
| Д-49 | український текст | 4Е-6 | 600 | ЧМ-8 | некогер. | 2,25 |
| Д-50 | Ма = 64 | 1Е-5 | 300 | КАМ-16 | когерент. | 1,7 |
| Д-51 | російський текст | 1Е-5 | 200 | ФМ-4 | когерент. | 2,7 |
| Д-52 | Ма = 128 | 3Е-5 | 150 | АМ-2 | когерент. | 2,8 |
| Д-53 | англійський текст | 2Е-5 | 100 | АМ-2 | некогер. | 1,9 |
| Д-54 | Ма = 32 | 3Е-5 | 75 | ЧМ-2 | когерент. | 2,4 |
| Д-55 | український текст | 4Е-5 | 50 | ЧМ-2 | некогер. | 1,4 |
| Д-56 | Ма = 64 | 5Е-5 | 9600 | ФМ-2 | когерент. | 2,5 |
| Д-57 | російський текст | 7Е-5 | 4800 | ВФМ-2 | когерент. | 2,7 |
| Д-58 | Ма = 128 | 9Е-5 | 2400 | ВФМ-2 | некогер. | 1,8 |
| Д-59 | англійський текст | 1Е-4 | 1200 | ФМ-4 | когерент. | 2,8 |
| Д-60 | Ма = 32 | 2Е-4 | 600 | ВФМ-4 | когерент. | 3,0 |
| Д-61 | український текст | 2Е-4 | 300 | Ч М-4 | некогер. | 2,0 |
| Д-62 | Ма = 64 | 2Е-4 | 200 | ЧМ-8 | некогер. | 2,0 |
| Д-63 | російський текст | 1Е-7 | 150 | КАМ-16 | когерент. | 2,6 |
| Д-64 | Ма = 128 | 2Е-7 | 100 | ФМ-4 | когерент. | 1,8 |
| Д-65 | англійський текст | 3Е-7 | 75 | АМ-2 | когерент. | 1,8 |
| Д-66 | Ма = 32 | 4Е-7 | 50 | АМ-2 | некогер. | 1,5 |
| Д-67 | український текст | 5Е-7 | 9600 | ЧМ-2 | когерент. | 2,5 |
| Д-68 | Ма = 64 | 6Е-7 | 4800 | ЧМ-2 | некогер. | 1,2 |
| Д-69 | російський текст | 7Е-7 | 2400 | ФМ-2 | когерент. | 2,8 |
| Д-70 | Ма = 128 | 8Е-7 | 1200 | ВФМ-2 | когерент. | 2,2 |
| Д-71 | англійський текст | 9Е-7 | 600 | ВФМ-2 | некогер. | 3,0 |
| Д-72 | Ма = 32 | 1Е-6 | 300 | ФМ-4 | когерент. | 2,1 |
| Д-73 | український текст | 2Е-6 | 200 | ВФМ-4 | когерент. | 2,4 |
| Д-74 | Ма = 64 | 3Е-6 | 150 | ЧМ-4 | некогер. | 1,6 |
| Д-75 | російський текст | 4Е-6 | 100 | ЧМ-8 | некогер. | 2,0 |
| Д-76 | Ма = 128 | 5Е-6 | 75 | КАМ-16 | когерент. | 3,0 |
| Д-77 | англійський текст | 6Е-6 | 50 | ФМ-4 | когерент. | 2,8 |
| Д-78 | Ма = 32 | 7Е-6 | 9600 | АМ-2 | когерент. | 1,6 |
| Д-79 | український текст | 8Е-6 | 4800 | АМ-2 | некогер. | 1,2 |
| Д-80 | Ма = 64 | 9Е-6 | 2400 | ЧМ-2 | когерент. | 1,8 |
| Д-81 | російський текст | 1Е-5 | 1200 | ЧМ-2 | некогер. | 1,4 |
| Д-82 | Ма = 128 | 2Е-6 | 600 | ФМ-2 | когерент. | 2,3 |
| Д-83 | англійський текст | 2Е-6 | 300 | ВФМ-2 | когерент. | 2,7 |
| Д-84 | Ма = 32 | 3Е-6 | 200 | ВФМ-2 | некогер. | 2,1 |
| Д-85 | український текст | 4Е-6 | 150 | ФМ-4 | когерент. | 3,0 |
| Д-86 | Ма = 64 | 5Е-6 | 100 | ВФМ-4 | когерент. | 2,0 |
| Д-87 | російський текст | 6Е-6 | 75 | ЧМ-4 | некогер. | 2,0 |
| Д-88 | Ма = 128 | 8Е-6 | 50 | ЧМ-8 | некогер. | 1,3 |
| Д-89 | англійський текст | 1Е-5 | 9600 | КАМ-16 | когерент. | 2,5 |
| Д-90 | Ма = 32 | 2Е-5 | 4800 | ФМ-4 | когерент. | 2,8 |
| Д-91 | український текст | 3Е-5 | 2400 | АМ-2 | когерент. | 1,6 |
| Д-92 | Ма = 64 | 4Е-5 | 1200 | АМ-2 | некогер. | 1,2 |
| Д-93 | російський текст | 5Е-5 | 600 | ЧМ-2 | когерент. | 1,8 |
| Д-94 | Ма = 128 | 6Е-5 | 300 | ЧМ-2 | некогер. | 1,4 |
| Д-95 | англійський текст | 7Е-5 | 200 | ФМ-2 | когерент. | 2,0 |
| Д-96 | Ма = 32 | 8Е-5 | 150 | ВФМ-2 | когерент. | 2,3 |
| Д-97 | український текст | 1Е-4 | 100 | ВФМ-2 | некогер. | 2,0 |
| Д-98 | Ма = 64 | 1Е-4 | 75 | ФМ-4 | когерент. | 2,6 |
| Д-99 | російський текст | 2Е-4 | 50 | ВФМ-4 | когерент. | 2,8 |

**Додаток 4**

**ОСНОВНІ ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ**

1. Пояснювальна записка виконується на одній стороні аркуша (можна і з двох сторін) білого паперу формату А4 (297х210 мм). Текст пояснювальної записки виконується рукописним способом (чорнилом або пастою темного кольору) або машинописним способом через півтора-два інтервали. З боків аркуша залишають поля: ліве, верхнє та нижнє не менш за 20 мм, праве не менш за 10 мм.

2. Пояснювальна записка повинна містити:

1. титульний аркуш;
2. дані до завдання на виконання курсової роботи;
3. чистий аркуш для рецензії керівника;
4. зміст;
5. основну частину;
6. закінчення;
7. перелік посилань.

3. Сторінки пояснювальної записки нумерують арабськими цифрами. Номер сторінки проставляють у правому верхньому куті аркуша.

4. Текст пояснювальної записки ділять на розділи у відповідності до завдання. Розділи повинні мати порядкові номери арабськими цифрами та назви.

5. Текст пояснювальної записки має бути чітким і не допускати різних тлумачень. При цьому використовуються терміни, позначення та визначення, вживані в курсі ТЕЗ та попередніх курсах ТЕК і вищої математики, а також у рекомендованій навчальній та спеціальній літературі. До використаних формул повинні бути надані посилання на джерела, а до використаних числових значень – пояснення щодо їх походження. Результати розрахунків супроводжуються зазначенням відповідних одиниць виміру.

6. Ілюстрації (графіки, схеми) виконуються тушшю, чорним чорнилом або пастою на аркушах з текстом, або на кальці, при цьому в тексті залишають вільне місце для кальки.

7. Ілюстрації та таблиці обов’язково нумерують та надають назву (наприклад, “Рисунок 1.1 – Структурна схема системи передачі” – перший рисунок першого розділу). Номер та назва розміщуються: для ілюстрацій – внизу (під ілюстрацією), для таблиць – зверху (над таблицею).

8. Умовні графічні позначення на функціональних і структурних схемах повинні відповідати вимогам ЄСКД.

9. Перелік посилань містить у собі посилання на підручники, навчальні посібники та книги, які були використані при виконанні роботи. Посилання в тексті подаються в квадратних дужках. У дужках проставляють номер, під яким джерело значиться в переліку посилань.