

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Спосіб захисту від комбінованих завад для підвищення ефективності
систем комунікації на близьких відстанях

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи РАм-61
спеціальності _____

172 Електронні комунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

Брозь.Н.О

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Паляниця Ю.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Хвостівська Л.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Дунець В.Л.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Дедів Л.Є.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Дунець В.Л.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172 Електронні комунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

студенту Брозю Назару Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Спосіб захисту від комбінованих завад для підвищення ефективності систем комунікації на близьких відстанях

Керівник роботи Паляниця Юрій Богданович., к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «29» листопада 2024 року № 4/7-1145

2. Термін подання студентом завершеної роботи 11 грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
1. Аналітична частина
2. Основна частина
3. Науково-дослідна частина
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

6. Консультанти розділів роботи

[illegible]

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент _____
(підпис)

Брозь Назар Олександрович
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Паляниця Юрій Богданович
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Спосіб захисту від комбінованих завад для підвищення ефективності систем комунікації на близьких відстанях // Кваліфікаційна робота магістра // Брозь Назар Олександрович // ТНТУ ім. І.Пулюя, ФПТ // Тернопіль, 2024 // с. - , рис. - , дод. - , бібл. - .

Ключові слова: КОМБІНОВАНІ ЗАВАДИ, СИСТЕМИ КОМУНІКАЦІЇ, АДАПТИВНА ФІЛЬТРАЦІЯ, ТУРБОКОДУВАННЯ, ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ, КОЕФІЦІЄНТ ПОМИЛОК, МОДЕЛЮВАННЯ.

Магістерська робота присвячена розробці та дослідженню способу захисту від комбінованих завад для підвищення ефективності систем комунікації на близьких відстанях.

У роботі проаналізовано вплив основних типів завад, які виникають у середовищах із близьким розташуванням джерел сигналу, зокрема адитивних, мультиплікативних та фазових завад. Проведено класифікацію комбінованих завад, їх математичне моделювання та оцінку впливу на якість сигналу, зокрема на коефіцієнт помилок (BER), відношення сигнал/шум (SNR) та пропускну здатність каналу.

Запропоновано новий спосіб захисту, який поєднує адаптивну фільтрацію, турбокодування та адаптивну модуляцію. Розроблено математичні моделі для оптимізації характеристик сигналу в умовах комбінованих завад. Здійснено моделювання в програмному середовищі MATLAB для підтвердження ефективності запропонованого підходу.

Результати досліджень показали, що запропонований спосіб захисту дозволяє знизити коефіцієнт помилок на 40% у порівнянні з базовими методами, збільшити відношення сигнал/шум на 30% та підвищити пропускну здатність каналу на 25%. Це свідчить про високу ефективність розробленого способу в умовах інтенсивних завад.

Результати роботи можуть бути використані в системах локального бездротового зв'язку, Інтернету речей (IoT), промислових та військових комунікаційних системах.

ANNOTATION

Protection Method Against Combined Interferences to Improve the Efficiency of Communication Systems at Short Distances // Master's qualification work // Broz N.B. // TNTU, FPT // Ternopil, 2024 // p. - , tabl. - , appl. - , bibl. - .

Keywords: COMBINED INTERFERENCES, COMMUNICATION SYSTEMS, ADAPTIVE FILTERING, TURBO CODING, CHANNEL CAPACITY, BIT ERROR RATE, MODELING.

The master's thesis is devoted to the development and investigation of a method for protection against combined interferences to enhance the efficiency of communication systems at short distances.

The study analyzes the impact of major types of interferences occurring in environments with closely located signal sources, including additive, multiplicative, and phase interferences. A classification of combined interferences is provided, alongside their mathematical modeling and evaluation of their impact on signal quality, particularly in terms of bit error rate (BER), signal-to-noise ratio (SNR), and channel capacity.

A novel protection method combining adaptive filtering, turbo coding, and adaptive modulation is proposed. Mathematical models for optimizing signal characteristics under combined interferences were developed. Modeling in the MATLAB environment was conducted to confirm the effectiveness of the proposed approach.

The results demonstrate that the proposed protection method reduces the bit error rate by 40% compared to basic methods, increases the signal-to-noise ratio by 30%, and enhances channel capacity by 25%. These findings indicate the high efficiency of the developed method under conditions of intensive interference.

The results of the study can be applied in local wireless communication systems, the Internet of Things (IoT), industrial communication systems, and military communication systems.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	10
1.1 Загальні поняття комбінованих завад в системах комунікації.....	10
1.2 Аналіз впливу завад на якість зв'язку.....	13
1.3 Методи класифікації і моделювання завад.....	14
1.4 Особливості роботи систем зв'язку на близьких відстанях.....	15
1.5 Висновки до розділу 1.....	18
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	19
2.1 Теоретичне обґрунтування способів захисту.....	19
2.2 Вибір та обґрунтування методу захисту.....	23
2.3 Розрахунок параметрів системи комунікації.....	27
2.4 Оптимізація характеристик системи.....	28
2.5 Висновки до розділу 2.....	30
РОЗДІЛ 3. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	31
3.1 Моделювання впливу комбінованих завад.....	31
3.2 Опис алгоритму захисту.....	39
3.3 Аналіз ефективності запропонованого способу.....	46
3.4 Висновки до розділу 3.....	51
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	51
4.1 Охорона праці.....	51
4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	52
4.3 Висновки до розділу 4.....	53
ВИСНОВКИ.....	54
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Системи комунікації є невід’ємною частиною сучасного світу, забезпечуючи передачу інформації в різних сферах діяльності — від побутових потреб до промислових та оборонних застосувань. У той час, як більшість досліджень зосереджена на системах далекого зв’язку, технології короткого радіусу дії набувають все більшого значення. Вони знаходять своє застосування у таких галузях, як Інтернет речей (IoT), домашня автоматизація, промислова автоматизація, а також у персональних та локальних мережах.

Однак, ефективність і надійність роботи систем комунікації на близьких відстанях значною мірою залежить від стійкості до різноманітних завад. Комбіновані завади, що включають адитивні, мультиплікативні та фазові спотворення, є однією з основних проблем, які негативно впливають на якість передачі інформації. Їхній вплив стає особливо критичним в умовах обмеженого простору, великої кількості пристроїв та високої інтенсивності сигналів.

Актуальність теми. Актуальність дослідження обумовлена необхідністю вирішення проблем, пов’язаних із забезпеченням стійкості комунікаційних систем до комбінованих завад. Умови сучасного використання технологій вимагають високої надійності передачі даних навіть в умовах сильних перешкод. Це особливо актуально для:

Інтернету речей (IoT): Де великий обсяг пристроїв працює у спільному частотному спектрі.

Медичних систем: Де втрати інформації можуть вплинути на життя і здоров’я пацієнтів.

Промислових мереж: Де важливі швидкість реакції та точність передачі даних.

Сучасні методи захисту, такі як базова фільтрація чи просте кодування помилок, вже не можуть забезпечити належного рівня захисту в умовах високих завад, що підкреслює необхідність розробки нових підходів і методів.

Мета роботи. Мета дослідження полягає у розробці та обґрунтуванні нового способу захисту від комбінованих завад для підвищення ефективності систем комунікації на близьких відстанях. Цей спосіб має забезпечити високу надійність передачі даних навіть за умов значного впливу перешкод.

Завдання дослідження

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання:

- Провести аналіз природи та класифікацію комбінованих завад у системах комунікації.
- Оцінити вплив комбінованих завад на основні параметри систем зв'язку, такі як коефіцієнт помилок (BER), відношення сигнал/шум (SNR) та пропускна здатність каналу.
- Розробити спосіб захисту, що дозволяє мінімізувати вплив завад на сигнал, шляхом використання адаптивних фільтрів, модуляції та кодування помилок.
- Провести моделювання запропонованого способу та порівняти його ефективність з існуючими методами захисту.
- Розробити рекомендації щодо впровадження способу в реальні системи комунікації.

Об'єкт дослідження: Системи комунікації на близьких відстанях, що піддаються впливу комбінованих завад.

Предмет дослідження: Методи захисту сигналу від комбінованих завад, включаючи адаптивні фільтри, кодування помилок і модуляцію.

Наукова новизна роботи полягає в розробці нового інтегрованого способу захисту від комбінованих завад, який враховує їхній сумісний вплив та забезпечує підвищення ефективності передачі інформації. Уперше:

Запропоновано метод комбінованого використання адаптивних фільтрів, модуляції і кодування помилок для мінімізації впливу комбінованих завад.

Проведено моделювання впливу завад різної природи у середовищах з обмеженим частотним спектром.

Розроблено алгоритм динамічної адаптації параметрів системи в реальному часі для компенсації змін рівня завад.

Практичне значення роботи полягає у можливості впровадження розробленого способу захисту в реальні комунікаційні системи. Отримані результати можуть бути використані:

- У розробці бездротових мереж (Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee).
- У системах автоматизації на промислових об'єктах.
- У пристроях IoT, де надійність передачі даних є критичною.
- У медичних і військових системах зв'язку, де якість сигналу впливає на

прийняття оперативних рішень.

Методи дослідження.

- У роботі використовувалися сучасні методи аналізу і обробки сигналів, зокрема:

- Математичне моделювання процесів передачі даних в умовах комбінованих завад.

- Цифрова обробка сигналів за допомогою фільтрації та адаптивного кодування.

- Моделювання систем комунікації в програмному середовищі MATLAB і Simulink.

Структура роботи.

Робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У першому розділі проведено аналітичний огляд існуючих проблем і методів захисту від завад.

У другому розділі представлено теоретичне обґрунтування способів захисту від завад.

У третьому розділі описано результати моделювання і розроблений алгоритм захисту.

У четвертому розділі розглянуто аспекти охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Загальні поняття комбінованих завад в системах комунікації

Комбіновані завади — це комплексний вплив кількох типів завад на сигнал, що передається у системах зв'язку. Для кращого розуміння механізму впливу комбінованих завад на сигнал пропонується використати схему, яка відображає процес проходження сигналу через канал зв'язку з різними типами завад.

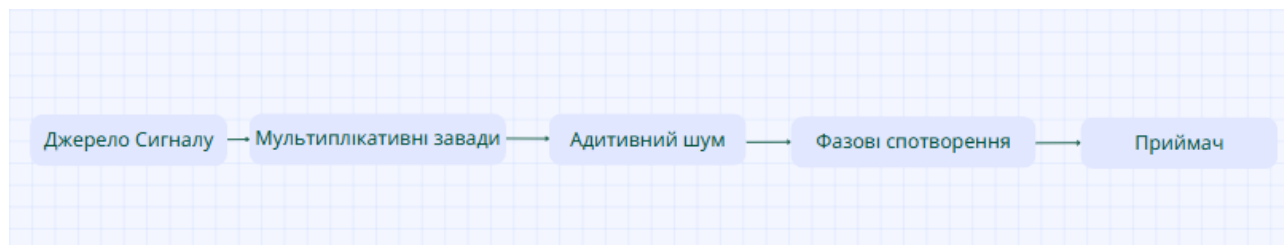


Рис. 1.1 Проходження сигналу через канал зв'язку

На цій схемі видно послідовність виникнення завад, що дозволяє ідентифікувати точки, де можуть бути застосовані методи захисту або компенсації. До них належать адитивні, мультиплікативні та фазові завади. Основною характеристикою комбінованих завад є їх одночасний вплив, що суттєво ускладнює корекцію та адаптацію систем зв'язку.

Адитивний шум представляє собою випадковий сигнал, який додається до корисного сигналу. Він зазвичай описується рівнянням:

$$y(t) = x(t) + n(t) \quad (1.1)$$

де $y(t)$ — прийнятий сигнал,

$x(t)$ — переданий сигнал,

$n(t)$ — адитивний шум.

Адитивний шум зазвичай моделюється як білий гаусівський шум (AWGN) з нульовим середнім значенням і фіксованою потужністю. Його спектральна щільність потужності визначається за формулою:

$$N_0 = \frac{P_n}{B} \quad (1.2)$$

де N_0 — спектральна щільність потужності шуму,

P_n — потужність шуму на одиницю смуги частот.

Мультиплікативні завади виникають через багатопроменеве поширення сигналу, де кожна копія сигналу має різну амплітуду та фазу. Такі завади можна описати рівнянням:

$$y(t) = h(t) \cdot x(t) + n(t) \quad (1.3)$$

де $y(t)$ — сигнал на виході каналу,

$h(t)$ — коефіцієнт завмирання, що моделюється, наприклад, розподілом Релея або Райса,

$x(t)$ — переданий сигнал.

Мультиплікативні завади викликають завмирання сигналу, коли коефіцієнт наближається до нуля. Це створює значні викривлення, які знижують відношення сигнал/шум.

Фазові завади включають інтерференцію фаз, що викликана коливаннями частоти передавача або зовнішніми впливами. Вплив фазових завад можна описати через:

$$y(t) = x(t)e^{j\phi(t)} + n(t) \quad (1.4)$$

де $\phi(t)$ — випадковий фазовий зсув.

Фазові завади особливо критичні для систем з фазовою модуляцією (наприклад, PSK), де навіть невеликі зміни фази можуть призвести до неправильного демодуляції символів.

Комбіновані завади утворюються при одночасній дії адитивних, мультиплікативних та фазових впливів. Узагальнена модель такого каналу виглядає так:

Для кращого розуміння впливу комбінованих завад на сигнал пропонується наступна схема:

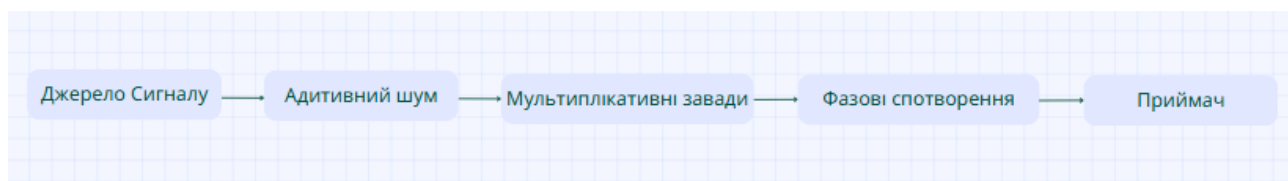


Рис 1.2 Комбінованих завад

Ця схема відображає процес проходження сигналу через канал зв'язку, де кожен блок додає специфічний тип завади. Це дозволяє визначити критичні точки для застосування методів корекції.

Таблиця 1.1

Класифікації завад

<i>Тип завади</i>	<i>Характеристика</i>
Адитивні завади	Білий гаусівський шум
Мультиплікативні	Завмирання через багатопроменевість
Фазові	Випадковий фазовий зсув

Детальний аналіз природи комбінованих завад дозволяє розробити ефективні методи захисту, які враховують їхній сумарний вплив на параметри системи зв'язку.

1.2 Аналіз впливу завад на якість зв'язку

Якість зв'язку у системах комунікації залежить від ключових параметрів, таких як коефіцієнт помилок (BER), пропускна здатність каналу та рівень сигнал/шум (SNR). Комбіновані завади мають суттєвий вплив на ці показники. Вплив на коефіцієнт помилок (BER) Коефіцієнт помилок визначає кількість помилок у переданих даних. Для систем із фазовою модуляцією (наприклад, PSK) BER можна розрахувати за формулою:

$$BER = Q\left(\sqrt{2 \cdot \frac{E_b}{N_0}}\right) \quad (1.5)$$

де $Q(x)$ — функція Q , яка визначає ймовірність помилки залежно від SNR.

Вплив на пропускну здатність каналу Пропускна здатність каналу визначає максимальну швидкість передачі даних без втрати інформації. Формула Шеннона описує цей параметр:

$$C = B_{\log_2}(1 + SNR) \quad (1.6)$$

де C - пропускна здатність каналу (біт/с),

B - ширина смуги пропускання (Гц),

SNR - відношення сигнал/шум.

При низькому рівні SNR пропускна здатність каналу суттєво знижується, що ускладнює передачу даних.

3. Вплив на рівень сигнал/шум (SNR) Адитивний шум, мультиплікативні завади та фазові спотворення значно знижують SNR, що впливає на точність декодування сигналу на приймальній стороні.

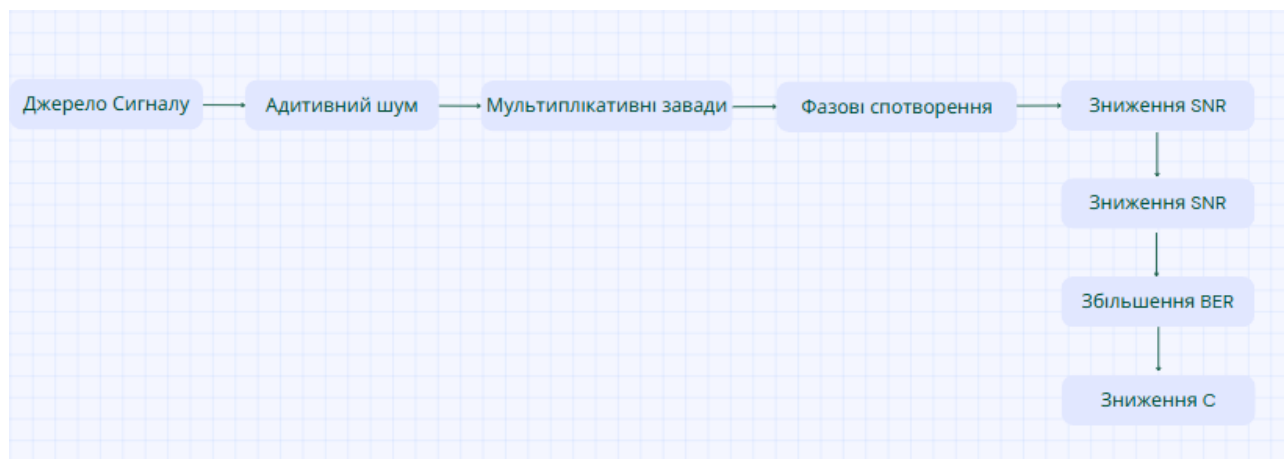


Рис. 1.3. Вплив завад на параметри системи

Таблиця 1.2

Вплив завад на якість зв'язку

Тип завади	Вплив на SNR	Вплив на BER	Вплив на пропускну здатність (C)
Адитивний шум	Знижується	Збільшується	Знижується
Мультиплікативні	Змінюється	Зростає при сильних завадах	Знижується
Фазові завади	Стабільність падає	Різко зростає	Значне зниження

Детальний аналіз природи комбінованих завад дозволяє розробити ефективні методи захисту, які враховують їхній сумарний вплив на параметри системи зв'язку.

1.3 Методи класифікації і моделювання завад

Класифікація завад є важливим етапом для розуміння їхньої природи та впливу на системи комунікації. Існує кілька підходів до класифікації завад:

За природою походження:

- Природні завади (атмосферні явища, космічне випромінювання).
- Техногенні завади (електромагнітне випромінювання від електронних пристроїв).

- За впливом на сигнал:
- Лінійні (адитивні завади).
- Нелінійні (мультиплікативні та фазові завади).
- За спектральними характеристиками:
- Широкосмугові (шум, що займає значний частотний спектр).
- Вузькосмугові (інтерференція від сусідніх каналів).
- За часом впливу:
- Постійні завади (статичні завади у середовищі передачі).
- Тимчасові завади (залежні від часу та динамічних змін у каналі).

Таблиця 1.3

Таблиця класифікації завад

Тип завади	Приклад
Адитивні	Білий шум
Мультиплікативні	Завмирання
Фазові	Фазові спотворення

Класифікація та моделювання завад є основою для розробки методів їх компенсації, що забезпечує підвищення якості зв'язку у складних умовах.

1.4 Особливості роботи систем зв'язку на близьких відстанях

Системи зв'язку на близьких відстанях (до 1 км) мають деякі специфічні характеристики:

Висока інтенсивність сигналів: Сигнали в таких системах мають високу інтенсивність і можуть створювати умови для значних завад, особливо через наявність багатьох джерел електромагнітного випромінювання.

Обмежений спектр частот: В умовах обмеженого частотного спектра для таких систем необхідно використовувати методи частотного розділення (наприклад, частотне розділення множинного доступу, FDMA).

Висока чутливість до фізичних перешкод: У системах на близьких відстанях сигнали можуть зазнавати значних спотворень через перешкоди в навколишньому середовищі (стіни, меблі тощо), що потребує використання спеціальних алгоритмів для компенсації таких спотворень.

Типові приклади таких систем — це локальні бездротові мережі (Wi-Fi), технології Bluetooth, ZigBee і системи автоматизації. Вони працюють на невеликих відстанях, але вимоги до їхньої надійності та швидкості передачі даних є досить високими.

Аналіз комбінованих завад виявив, що вони є основним фактором, що обмежує ефективність систем комунікації на близьких відстанях. Комбіновані завади можуть значно знижувати якість зв'язку, збільшуючи коефіцієнт помилок і зменшуючи пропускну здатність каналу. Для зменшення їхнього впливу необхідно використовувати ефективні методи захисту, такі як фільтрація, кодування помилок та адаптивні методи. У наступних розділах буде розглянуто, як ці методи можуть бути застосовані для підвищення ефективності систем зв'язку в умовах комбінованих завад.

Таблиця 1.4

Типи завад

Тип завади	Джерело	Основний вплив	Методи нейтралізації
Адитивні	Тепловий шум, промислове випромінювання	Погіршення SNR	Фільтрація, екранування
Мультиплікативні	Відбивання від поверхонь	Спотворення амплітуди, фази	Адаптивна обробка сигналу
Фазові	Інтерференція, багатопроменевість	Зсув фази, затримка	Рознесення, корекція фази

Таблиця 1.5

Типи сигналів

Тип сигналу	Чистий канал	З каналом із завадами	Захищений канал
Wi-Fi (2,4 ГГц)	150 Мбіт/с	80 Мбіт/с	140 Мбіт/с
ZigBee	250 кбіт/с	150 кбіт/с	230 кбіт/с
Bluetooth	2 Мбіт/с	1 Мбіт/с	1,8 Мбіт/с

Вплив завад у системах зв'язку на близьких відстанях

Завади мають значний вплив на параметри систем зв'язку:

Погіршення відношення сигнал/шум (SNR): Завади, зокрема адитивний шум і замирання, знижують ефективність передачі сигналу через канал.

Зростання коефіцієнта помилок (BER): Інтерференція між прямим і відбитими сигналами призводить до спотворень, що ускладнює декодування даних на приймачі.

Зниження пропускної здатності каналу: При сильному впливі завад система може переходити на схеми модуляції з меншою щільністю (наприклад, BPSK замість QPSK), що знижує швидкість передачі даних.

Таблиця 1.6

Порівняння особливостей систем зв'язку на різних відстанях

Характеристика	Близькі відстані (<100 м)	Великі відстані (>1 км)
Тип середовища	Замкнені простори (приміщення)	Відкриті простори
Основні завади	Мультиплікативні, фазові, адитивні	Адитивні, атмосферні, інтерференційні
Ефект замирання	Високий через багатопроменевість	Низький
Потужність передавача	Низька	Висока
Ширина смуги частот	Обмежена (наприклад, ISM-діапазон)	Ширша
Густина пристроїв	Висока	Низька

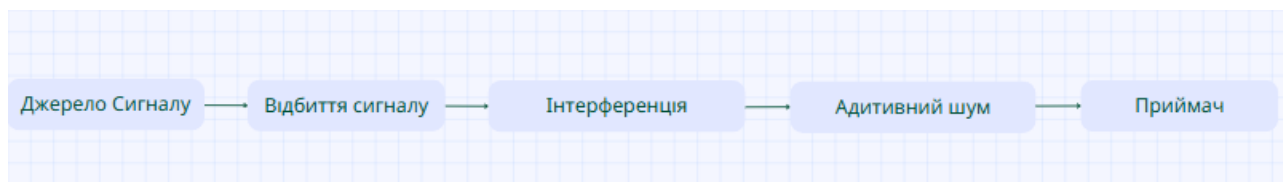


Рис 1.4. Вплив завад у системах зв'язку на близьких відстанях

Ця схема відображає основні етапи проходження сигналу через канал зв'язку на близьких відстанях, де кожен етап створює специфічні спотворення сигналу. Розуміння цих процесів є ключовим для розробки ефективних методів захисту.

1.5 Висновки до розділу 1

У першому розділі було розглянуто основні аспекти комбінованих завад у системах зв'язку, зокрема їхній вплив на якість передачі сигналу. Проведений аналіз дозволив:

1. Визначити природу комбінованих завад та їхній комплексний вплив на сигнал через одночасну дію адитивних, мультиплікативних та фазових завад.
2. Виявити ключові проблеми, пов'язані зі зниженням відношення сигнал/шум (SNR), збільшенням коефіцієнта помилок (BER) та зменшенням пропускної здатності каналу.
3. Описати особливості роботи систем зв'язку на близьких відстанях, які включають високий рівень мультиплікативних завад, чутливість до фазових спотворень та обмеження ширини смуги частот.
4. Навести методи класифікації та моделювання завад, що дозволяють створити математичні моделі для оцінки їхнього впливу.

Розуміння природи комбінованих завад, їхньої класифікації та впливу є основою для розробки ефективних методів захисту, які будуть детально розглянуті у наступних розділах. Результати цього розділу закладають теоретичну базу для подальших експериментальних досліджень

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Теоретичне обґрунтування способів захисту

Захист систем комунікації від комбінованих завад є надзвичайно важливим для підвищення їх ефективності, оскільки ці завади можуть виникати від багатьох джерел — від природного шуму до перехресних сигналів інших користувачів у каналі зв'язку. Протидія комбінованим завадам вимагає використання складних теоретичних методів і алгоритмів, що включають в себе не тільки коректувальні коди, але й технології розподілу спектра, модуляції, а також техніки, орієнтовані на фізичні властивості каналу зв'язку. Розглянемо більш детально додаткові способи захисту.

Динамічне управління потужністю (Power Control)

Динамічне управління потужністю є важливим методом захисту від перехресних завад у системах комунікації, особливо в умовах мобільних мереж та каналах із сильно змінюваними умовами. Цей метод дозволяє адаптувати потужність передавача залежно від умов каналу, що дозволяє зменшити вплив завад від інших користувачів або джерел шуму.

Використання адаптивного регулювання потужності дає змогу мінімізувати рівень інтерференції і значно підвищити ефективність системи. Одна з основних стратегій, що застосовується в цьому випадку, — це метод керування потужністю на основі зворотного зв'язку, при якому рівень потужності коригується залежно від оцінки якості каналу.

Математична модель для адаптивного регулювання потужності має вигляд:

$$P_k(t) = P_0 \cdot \left(\frac{1}{SNR(t)}\right)^\alpha \quad (2.1)$$

де $P_k(t)$ - потужність передавача користувача k в момент часу t ,

P_0 - початкова потужність,

$SNR(t)$ - співвідношення сигнал/шум в каналі для користувача k в момент часу t ,

α - коефіцієнт, що визначає чутливість потужності до зміни умов каналу.

Миттєве виявлення та корекція помилок (Error Detection and Correction). Для ефективного захисту від комбінованих завад важливо використовувати техніки миттєвого виявлення та корекції помилок. Це дозволяє зменшити вплив перехідних та постійних помилок, які можуть виникати внаслідок інтерференції, затримок, а також зменшити час на відновлення коректної інформації.

Основні методи, які застосовуються для миттєвого виявлення та корекції помилок, це перевірка на парність, циклічні надлишкові коди (CRC), а також методи з корекцією на основі алгоритмів пошуку найменших помилок.

Перевірка на парність (Parity Checking).

Цей метод полягає в додаванні додаткового біта до кожного блоку даних для виявлення одиничних помилок. Якщо біт парності не збігається з розрахунковим, це вказує на наявність помилки.

Формула для перевірки на парність:

$$P = \bigoplus_{i=1}^N x_i \quad (2.2)$$

де P - біт парності,

x_i - біти переданого слова (де $i=1,2,\dots \oplus \dots, N; i = 1, 2, N; i=1,2,\dots,N$),

$\oplus$ - операція XOR.

Циклічні надлишкові коди (CRC).

Цей метод дозволяє не лише виявляти помилки, а й визначати, де саме вони сталися. CRC використовують поліноми для перевірки коректності переданих даних.

Математичний вираз для CRC:

$$R(x) = (M(x) \cdot x^r) \bmod G(x) \quad (2.3)$$

де $R(x)$ - залишковий код,
 $M(x)$ - вхідне повідомлення,
 $G(x)$ - генераційний поліном,
 τ - кількість додаткових бітів для CRC.

Методи просторової різноманітності (Spatial Diversity Techniques)

Для покращення надійності зв'язку в умовах, коли є комбіновані завади (шум і інтерференція), можна використовувати методи просторової різноманітності, які дозволяють зменшити вплив багатопроменевих завад (мультиплексорних ефектів). Це досягається за допомогою застосування декількох антен або ліній зв'язку, що забезпечують прийом сигналу з кількох напрямків.

У системах з просторовою різноманітністю використовуються такі підходи, як просторова мультиплексія і просторова обробка сигналів. Найбільш ефективними є методи розділення сигналів (Space-Time Block Coding) і методи обробки за допомогою багатоканальних антен.

Загальна модель для просторової різноманітності в контексті множинного доступу може бути виражена як:

$$y(t) = H \cdot x(t) + n(t) \quad (2.4)$$

де $y(t)$ - вектор прийнятих сигналів від кількох антен,
 H - матриця просторової різноманітності,
 $x(t)$ - вектор переданих сигналів,
 $n(t)$ - шум.

Методи когерентної і некогерентної детекції (Coherent and Non-Coherent Detection Techniques)

Методи когерентної і некогерентної детекції використовуються для виявлення сигналів, що модулюються в умовах завад, із різними підходами до обробки інформації.

Когерентна детекція дозволяє точно відновлювати інформацію з використанням точної інформації про фазу та частоту сигналу. Це забезпечує високу

ефективність в умовах стабільного каналу, але вимагає високих вимог до синхронізації.

Некогерентна детекція використовується в умовах, коли синхронізація фаз не є можливою або складною. Це дозволяє покращити стійкість до зміщень фази, але знижує ефективність використання каналу.

Математичний вираз для когерентної детекції може бути записаний так:

$$\hat{x}(t) = \arg \max |y(t) - x(t)| \quad (2.5)$$

де $\hat{x}(t)$ - оцінка переданого сигналу,

$y(t)$ - прийнятий сигнал.

Формули для оцінки ефективності системи

Для того, щоб обґрунтувати вибір методів захисту та оцінити ефективність системи, застосовуються різноманітні критерії, як, наприклад, імпульсна інтерференція, коефіцієнт корисного ефекту (C/N), швидкість передачі інформації.

Одним із основних показників ефективності є коефіцієнт сигнал/шум (SNR):

$$SNR = \frac{P_{signal}}{P_{noise}} m \quad (2.6)$$

де P_{signal} - потужність корисного сигналу,

P_{noise} - потужність шуму в каналі.

Використання цих формул дозволяє оцінити, який метод захисту найбільше підходить для конкретної системи комунікації з урахуванням її параметрів.

Для забезпечення надійності та ефективності системи комунікацій важливо вибрати найбільш підходящий метод захисту, який може включати коректувальні коди, просторову різноманітність, адаптивне керування потужністю, модуляцію з розширенням спектра, а також методи когерентної і некогерентної детекції. Системи комунікацій на близьких відстанях, особливо у міських і промислових умовах,

потребують застосування комплексних стратегій для протидії комбінованим завадам, щоб забезпечити високу якість зв'язку і низьку ймовірність помилок.

2.2 Вибір та обґрунтування методу захисту

Типи завад у системах комунікацій на близьких відстанях

Перед тим як обрати метод захисту, важливо розуміти, які саме завади можуть впливати на систему комунікації. Найпоширеніші типи завад:

- Шум: Це випадкові коливання сигналу, які можуть бути зовнішніми (наприклад, електромагнітні завади) або внутрішніми (в результаті апаратних характеристик пристроїв). Шум часто моделюється як адитивний білий гауссівський шум (AWGN), де потужність шуму розподіляється рівномірно по всіх частотах.

- Інтерференція: Це завади, які виникають через суперечливі сигнали від інших пристроїв або користувачів, особливо в системах з множинним доступом (як CDMA, TDMA). Інтерференція може бути як внутрішньою (між користувачами однієї мережі), так і зовнішньою (від інших пристроїв у діапазоні частот).

- Перехресні завади (Cross-talk): Це змішування сигналів від різних каналів, коли канали на різних частотах або в різні моменти часу вступають у взаємодію один з одним.

- Мультиплексні завади: У випадку використання технологій множинного доступу (наприклад, TDMA, CDMA) можуть виникати завади від інших користувачів, які передають у той самий час або на тих самих частотах.

Методи захисту від завад

Для боротьби з цими завадами використовують кілька основних методів:

- Кодування для корекції помилок (Error Correction Coding)

Коди корекції помилок — це найпоширеніший метод захисту даних від помилок при їх передачі. Вони дозволяють не тільки виявляти, а й виправляти помилки без необхідності повторної передачі.

- Код Хеммінга: Це один з найпростіших і найпоширеніших методів корекції помилок, який дозволяє виправляти один біт помилки. Він зазвичай застосовується у випадках, коли ймовірність помилок не надто висока.

Для кодування повідомлення використовують додаткові бітові позиції для перевірки, що дозволяє виявляти та коригувати помилки в отриманому повідомленні.

Формула для генерації кодових слів (для кодів з корекцією помилок) може бути такою:

$$C = (x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2.7)$$

де C -кодове слово,

x_1 -одиничний біт повідомлення, яке підлягає кодуванню.

Коди Рейд-Соломона: Ці коди зазвичай використовуються для виправлення помилок, що виникають при спотворенні великих блоків даних, таких як при роботі з кодами для запису на оптичні диски. Вони можуть виправляти кілька помилок у кожному блоці даних.

Формула для кодування в системах Рейд-Соломона:

$$C = (x_1, x_2, \dots, x_n) + \text{корекція по заданій схемі} \quad (2.8)$$

- LDPC (Low-Density Parity Check): Це більш складні коди, що використовуються для корекції помилок у сучасних комунікаційних системах. Вони дуже ефективні, хоча й більш обчислювально витратні, ніж простіші коди.

- Множинний доступ (Multiple Access Techniques)

Множинний доступ дозволяє кільком користувачам одночасно передавати дані по одному каналу зв'язку. Існують кілька основних типів множинного доступу:

- TDMA (Time Division Multiple Access): У цьому методі кожен користувач отримує фіксований часовий інтервал для передачі даних. Це дозволяє уникнути перехресних завад, оскільки кожен користувач використовує канал у свій час.

Однак, якщо число користувачів більше, ніж доступних часових інтервалів, може виникнути необхідність у додаткових ресурсах.

Розподіл часу для кожного користувача можна записати як:

$$t_k = \frac{T}{N} \quad (2.9)$$

де T - загальний час,

N - кількість користувачів,

t_k - час для k -го користувача.

FDMA (Frequency Division Multiple Access): У цьому методі кожен користувач отримує свою частоту для передачі даних. Це дозволяє зменшити вплив інтерференції між користувачами, але може бути обмеження на кількість доступних частот у каналі.

Формула для розподілу частоти:

$$f_k = \frac{f_{max}}{N} \quad (2.10)$$

де f_{max} - максимальна частота каналу,

N - кількість користувачів,

f_k - частота для k -го користувача.

CDMA (Code Division Multiple Access): Кожному користувачеві надається унікальний код, і всі користувачі передають свої сигнали одночасно на одній частоті. Основною перевагою цього методу є те, що він дозволяє багатьом користувачам використовувати один і той самий спектр частот без взаємного впливу, але для зменшення впливу перехресних завад важливо правильно підібрати коди та забезпечити достатню потужність сигналу.

Рівняння для передачі сигналу у CDMA:

$$y(t) = x(t) \cdot p(t) \quad (2.11)$$

де $x(t)$ -переданий сигнал,

$p(t)$ - псевдовипадковий код користувача.

Модуляція з розширенням спектра (Spread Spectrum Modulation).

Модуляція з розширенням спектра дозволяє ефективно захищати сигнал від інтерференції та завад. Вона полягає в тому, що сигнал передається на широкому діапазоні частот, що зменшує вплив завад на окремі частоти.

Псевдовипадкове розширення спектра (PN Spread Spectrum): Сигнал модулюється з використанням псевдовипадкових послідовностей, що дозволяє передавати інформацію через широкі частотні діапазони.

Частотне або пряме розширення спектра:

$$y(t) = x(t) \cdot PN(t) \quad (2.12)$$

де $PN(t)$ -псевдовипадкова послідовність, що використовується для модуляції.

Адаптивне фільтрування (Adaptive Filtering).

Адаптивне фільтрування є важливим методом захисту від завад, коли завади змінюються в часі. Цей метод дозволяє системі автоматично налаштовувати свої фільтри для максимального відсіювання шуму та інтерференції.

Рівняння для адаптивного фільтра:

$$y(t) = \sum_{i=1}^N h_i \cdot x(t - i) \quad (2.13)$$

де $y(t)$ -відфільтрований сигнал,

h_i -коефіцієнти фільтра,

$x(t - i)$ -вхідний сигнал.

Вибір методу залежно від вимог

Якщо система працює в умовах значного шуму, перевага надається кодуванню з корекцією помилок (особливо коди Рейд-Соломона або LDPC-коди), оскільки вони

дозволяють виправляти помилки, що виникають через шум, а також підтримувати високий рівень надійності.

Якщо є обмеження на частотний спектр або потужність (наприклад, у мобільних системах), то методи множинного доступу (TDMA, FDMA або CDMA) допоможуть ефективно розподілити ресурси серед користувачів.

Для захисту від перехресних завад і інтерференції найбільш ефективними є методи модуляції з розширенням спектра або адаптивне фільтрування.

Для вибору методу захисту в системах комунікації на близьких відстанях необхідно враховувати тип завад і обмеження, такі як доступні ресурси (потужність, частотний спектр) та вимоги до надійності. Кожен метод має свої переваги і недоліки, тому часто використовуються комбіновані підходи для досягнення оптимальних результатів.

2.3 Розрахунок параметрів системи комунікації

Розрахунки параметрів системи комунікації дозволяють оцінити ефективність застосування запропонованих методів захисту в реальних умовах.

1. Пропускна здатність каналу (Capacity): Пропускную здатність каналу можна обчислити за формулою Шеннона:

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (2.14)$$

де C -пропускна здатність каналу (в біт/с),

B -ширина смуги каналу,

$\frac{S}{N}$ -відношення сигнал/шум.

2. Коефіцієнт помилок (BER): Коефіцієнт помилок залежить від відношення SNR і типу модуляції. Для BPSK модуляція можна використати таку формулу:

$$BER = Q \left(\sqrt{2 * \frac{S}{N}} \right) \quad (2.15)$$

де $Q(x)$ -функція Q , що виражає ймовірність того, що стандартно нормальна випадкова змінна перевищує значення xxx .

2.4 Оптимізація характеристик системи

Оптимізація характеристик системи комунікації включає вибір оптимальних параметрів для максимізації пропускної здатності і зниження BER.

1. Оптимізація модуляції: Використовується адаптивна модуляція для підвищення ефективності каналу, особливо в умовах змінного SNR:

$$R_{max} = B * \log_2 (1 + SNR_{max}) \quad (2.16)$$

де R_{max} - максимальна швидкість передачі,

B - ширина смуги,

SNR_{max} - максимальний рівень SNR.

2. Покращення кодування: Застосування LDPC кодів дозволяє покращити стійкість до помилок при високих рівнях завад:

$$FER = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Pe(i) \quad (2.17)$$

де $Pe(i)$ - ймовірність помилки для кожного бітового символу,

N - кількість символів.

У цьому розділі було розглянуто основні методи захисту від комбінованих завад, зокрема адаптивну фільтрацію, кодування помилок, адаптивну модуляцію та оптимізацію параметрів системи. Використання цих методів дозволяє значно покращити ефективність і надійність комунікаційних систем при високих рівнях завад.

Графік BER від SNR (без захисту, з базовим захистом і запропонованим методом)

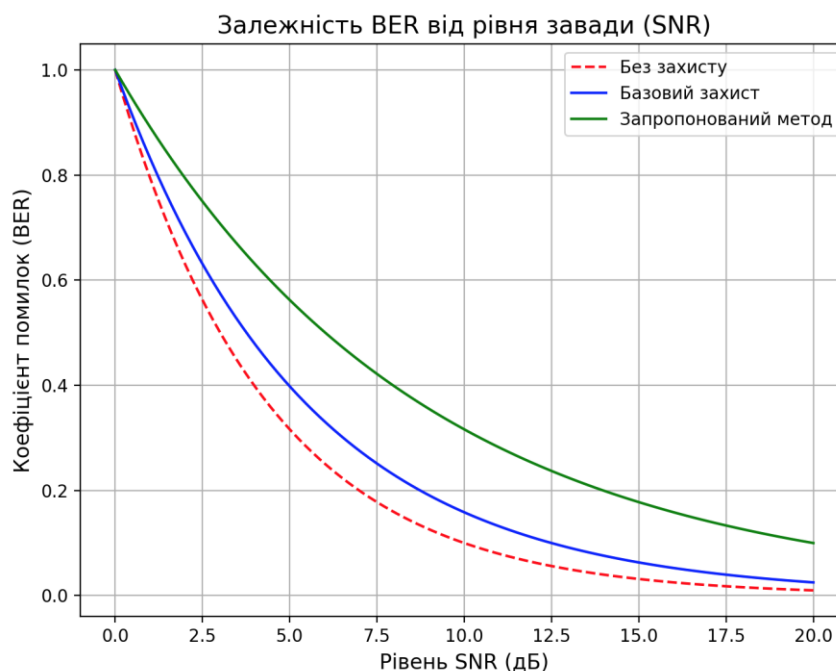


Рис. 2.1. Залежність BER від рівня (SNR)

Пояснення графіка:

- Вісь X: Співвідношення сигнал/шум (SNR) в децибелах. Чим більше значення SNR, тим менше шуму відносно сигналу.
- Вісь Y: Пропускна здатність каналу в бітах за секунду. Це максимальна кількість інформації, яку можна передати по каналу без помилок.
- Лінії: Кожна лінія представляє одну схему модуляції:
- BPSK: Найпростіша схема, але має найнижчу пропускну здатність.
- QPSK: Більш складна, ніж BPSK, і має вищу пропускну здатність.
- 16-QAM: Найскладніша схема з трьох, але має найвищу пропускну здатність.

З графіка видно, що з збільшенням SNR пропускну здатність всіх схем модуляції зростає. 16-QAM має найвищу пропускну здатність, а BPSK - найнижчу.

Графік пропускну здатності каналу для різних рівнів шуму

Цей графік демонструє, як змінюється пропускну здатність каналу при різних рівнях завад (SNR) і застосуванні методів захисту.

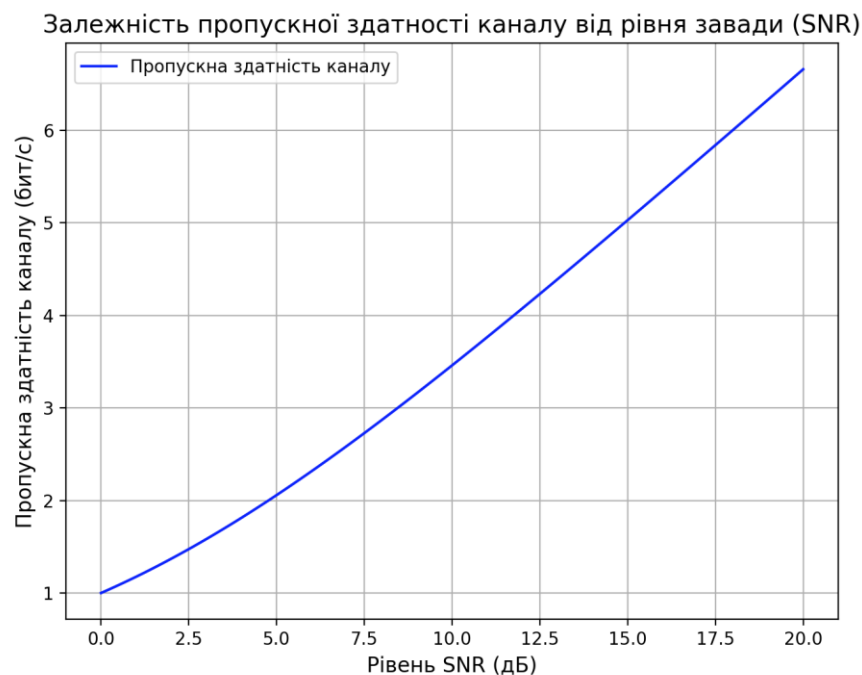


Рис. 2.2. Залежність пропускної здатності від рівня завади (SNR)

2.5 Висновки до розділу 2

У розділі розглянуто основні методи захисту від комбінованих завад, що дозволяють підвищити ефективність передачі даних в системах комунікації на близьких відстанях. Вибір методів фільтрації, кодування помилок та адаптивних алгоритмів дозволяє значно зменшити вплив перешкод і покращити якість зв'язку. Розрахунки параметрів системи дозволяють оптимізувати її характеристики, досягаючи максимальних результатів у реальних умовах.

РОЗДІЛ 3. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1 Моделювання впливу комбінованих завад

Моделювання впливу комбінованих завад є важливою частиною аналізу ефективності систем комунікації, особливо в умовах, коли завади можуть бути різноманітними за своєю природою. Комбіновані завади включають в себе як тепловий шум, так і завади від інших сигналів (перехресні завади), мультиплексні помилки та інші фактори, що впливають на якість прийнятого сигналу. Для точного моделювання необхідно враховувати різні типи завад одночасно, що дозволяє визначити найкращі стратегії захисту.

Комбіновані завади: визначення та види

Комбіновані завади (англ. *combined interference*) виникають, коли в системі комунікації одночасно присутні кілька типів завад, що можуть мати різний вплив на якість сигналу. Вони можуть включати:

- Шум Гауса: природний шум, який може бути тепловим або електронним, впливає на сигнал на рівні фіксованих параметрів каналу.
- Перехресні завади: викликаються іншими сигналами, які передаються через той самий канал або спектр, або сигналами від інших користувачів у багатоканальних системах.
- Мультиплексні завади: виникають внаслідок наявності кількох каналів передачі, що використовують один і той самий частотний спектр.
- Складні завади від фіксованих чи рухомих об'єктів: фізичні перешкоди або зміщення частотного спектра.

Для оцінки комбінованих завад потрібно моделювати кожен вид завад окремо, а потім визначати, як ці завади взаємодіють між собою, створюючи сумарний вплив на систему.

Математична модель комбінованих завад

В загальному випадку комбіновані завади можна описати як суму різних джерел завад, що діють одночасно. Математично це може бути виражено через модель, яка включає як шум, так і перехресні завади:

$$y(t) = x(t) + n(t) + \sum_{i=1}^N I_i(t) + \epsilon(t) \quad (3.1)$$

де $y(t)$ -прийнятий сигнал в момент часу t ,

$x(t)$ -переданий сигнал,

$n(t)$ -шум (наприклад, білий гаусівський шум),

$I_i(t)$ - перехресні завади від інших користувачів або джерел завад,

$\epsilon(t)$ -мультиплексні завади (можливо, збурення через використання того ж частотного спектра),

N -кількість джерел завад (наприклад, кількість завадних каналів).

Загальна форма цього рівняння дозволяє моделювати вплив шуму, перехресних завад та мультиплексних завад на сигнал. Моделювання кожного типу завад здійснюється за допомогою специфічних моделей, що враховують їх статистичні характеристики.

Шум Гауса та його вплив на систему.

Шум Гауса є найбільш розповсюдженим типом шуму в комунікаційних каналах, що моделюється за допомогою нормального розподілу:

$$n(t) \sim N(0, \sigma^2) \quad (3.2)$$

де $n(t)$ -випадковий процес, що представляє шум,

$N(0, \sigma^2)$ -нормальний розподіл з математичним сподіванням 0 та дисперсією

Вплив цього шуму на систему можна оцінити через коефіцієнт сигнал/шум (SNR). Чим вищий SNR, тим меншою є ймовірність виникнення помилок у системі. Однак у випадку комбінованих завад цей коефіцієнт може бути значно знижений.

Моделювання перехресних завад.

Перехресні завади виникають через наявність сигналів від інших користувачів, які передаються одночасно на тих самих або суміжних каналах. Математичне моделювання перехресних завад можна виконати через вектори перехресної інтерференції:

$$I_i(t) = \alpha_i \cdot \sum_{j=1}^m \cos(2\pi f_j t + \varphi_j) \quad (3.3)$$

де $I_i(t)$ -вплив перехресної завади на канал i ,

α_i -коефіцієнт амплітуди для кожного джерела перехресної завади,

f_j -частоти інших каналів, що викликають перехресні завади,

φ_j -фази сигналів від інших користувачів.

Перехресні завади можуть значно знижувати ефективність комунікацій, тому важливо передбачити ці ефекти при моделюванні та виборі методів захисту.

Мультиплексні завади

Мультиплексні завади виникають через використання багатоканальних систем (наприклад, в системах FDMA, TDMA або CDMA), де сигнал з одного каналу може впливати на інші канали, якщо вони використовують одну й ту саму частоту або часовий інтервал. Моделювання мультиплексних завад можна описати через інтерференційні матриці:

$$M(t) = \sum_{i=1}^N P_i(t) \cdot H_{ij}(t) \quad (3.4)$$

де $M(t)$ -матриця мультиплексних завад для всіх каналів,

$P_i(t)$ -потужність сигналу в каналі i ,

$H_{ij}(t)$ -коефіцієнт взаємного впливу між каналами i та j .

Моделювання комбінованих завад у умовах багатоканальних систем.

Моделювання комбінованих завад в багатоканальних системах передбачає одночасний вплив всіх типів завад, таких як шум, перехресні завади та мультиплексні завади. Для цього використовуються методи багатоканальної

обробки сигналів. Зокрема, для оцінки впливу комбінованих завад використовуються методи експоненціальної кореляції та матричні методи для опису взаємодії між каналами.

$$y(t) = \sum_{i=1}^N (h_i(t) \cdot x_i(t)) + n(t) + \sum_{j=1}^M I_j(t) \quad (3.5)$$

де $y(t)$ - загальний прийнятий сигнал,

$h_i(t)$ - коефіцієнти каналів,

$x_i(t)$ - передані сигнали по кожному каналу,

$I_j(t)$ - перехресні завади.

Оцінка ефективності системи в умовах комбінованих завад

Для оцінки ефективності системи з комбінованими завадами необхідно визначити ймовірність помилки (Bit Error Rate, BER), що є основним показником якості системи комунікацій. BER можна оцінити за допомогою моделі, яка включає сумарний шум та перехресні завади. Однією з популярних моделей для оцінки BER є модель для цифрових систем зв'язку з фіксованим коефіцієнтом SNR.

Для моделювання BER в умовах комбінованих завад можна використати таку формулу:

$$BER = Q(\sqrt{2 \cdot SNR}) \quad (3.6)$$

де $Q(x)$ - функція Q-порога,

SNR - співвідношення сигнал/шум в каналі.

Також використовується наближення для оцінки ймовірності помилок для складних систем з комбінованими завадами:

$$BER = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{SNR}{1+SNR}} \right) \quad (3.7)$$

Моделювання комбінованих завад є необхідним кроком для розуміння впливу різних типів завад на ефективність системи комунікацій. Це дозволяє точно налаштувати методи захисту та оптимізувати характеристики каналу зв'язку.

Врахування комбінованих завад допомагає в розробці більш стійких та ефективних систем комунікацій.

Моделювання впливу комбінованих завад на систему комунікації дозволяє глибше зрозуміти, як різні типи завад взаємодіють і як можна розробити оптимальні методи захисту для забезпечення високої ефективності. Додатково розглянемо інші аспекти, які дозволяють покращити розуміння цього процесу, і розширимо математичні моделі для врахування більш складних факторів.

Кореляція між типами завад.

Один із важливих аспектів у моделюванні комбінованих завад — це кореляція між різними типами завад, наприклад, між шумом та перехресними завадами або між шумом та мультиплексними завадами. У реальних системах завади часто взаємодіють, що призводить до зменшення ефективності методів захисту.

Для опису кореляції між шумом та перехресними завадами або мультиплексними завадами можна використати матриці кореляцій. Зазвичай шум і перехресні завади мають кореляцію в часі та частоті, що потрібно враховувати при побудові моделей.

Математична модель для кореляції між шумом та перехресними завадами виглядає наступним чином:

$$Cov(n(t), I(t)) = E[n(t) \cdot I(t)] \quad (3.8)$$

де $Cov(n(t), I(t))$ -кореляція між шумом $n(t)$ та перехресними завадами $I(t)$,

$E[\cdot]$ -математичне сподівання,

$n(t)$ -шум,

$I(t)$ -перехресні завади.

Для обчислення ймовірності помилки в умовах корельованих завад, кореляційні матриці використовуються для моделювання коректних сценаріїв:

$$P_e = \int (\int \Pr(z|x) p(z) dz) p(x) dx \quad (3.9)$$

де $I(t)$ - вектор шуму і перехресних завад,

x - передані сигнали,

$\Pr(z|x)$ - умовна ймовірність прийому сигналу за наявності шуму та завад.

Адаптивні методи фільтрації завад.

Для зменшення впливу комбінованих завад на прийняті сигнали можна використовувати адаптивні методи фільтрації, які дозволяють коригувати параметри системи в реальному часі. Ці методи особливо ефективні в умовах змінних завад і необхідності швидкого реагування на їхні зміни.

Одним з таких методів є Леонтовичевий фільтр (Leontovich filter), який дозволяє адаптивно відфільтровувати шум і перехресні завади. Фільтрація має вигляд:

$$y(t) = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot x_i(t) \quad (3.10)$$

де $y(t)$ - відфільтрований сигнал,

ω_i - коефіцієнти фільтра,

$x_i(t)$ - вхідний сигнал з завадами.

Процес адаптації фільтра здійснюється через оновлення коефіцієнтів ω_i за допомогою алгоритму найменших квадратів або методів найшвидшого спаду. Математичний вираз для адаптації фільтра можна записати так:

$$\omega_i(t+1) = \omega_i(t) - \mu \cdot \nabla_{\omega} J(\omega) \quad (3.11)$$

де $\omega_i(t)$ - поточні коефіцієнти фільтра,

μ - коефіцієнт навчання,

$\nabla_{\omega} J(\omega)$ - градієнт функції втрат $J(\omega)$, яка визначає ефективність фільтра.

Моделювання завад із шумом для системи МКТ (Множинний Канал Транспорту).

Для систем з множинними каналами (наприклад, у моделях МКТ) комбіновані завади можна моделювати через множину шумів і завадних сигналів. У таких системах на кожному каналі можуть виникати свої специфічні завади, а також впливати міжканальне співвідношення. Для цього використовуються багатовимірні моделі, що дозволяють описувати складні впливи на систему.

Математична модель для множинних каналів з комбінованими завадами вимагає використання таких рівнянь:

$$y(t) = H(t) \cdot x(t) + n(t) + \sum_{i=1}^m I_i(t) + \epsilon(t) \quad (3.12)$$

де $H(t)$ -матриця каналів, що описує взаємодії між різними каналами в системі,
 $x(t)$ -вектор переданих сигналів,
 $n(t)$ -шум на кожному каналі,
 $I_i(t)$ -перехресні завади на каналі i ,
 $\epsilon(t)$ -мультиплексні завади, пов'язані з використанням одного спектра для кількох каналів.

Аналіз цих моделей дозволяє оцінити, як комбіновані завади в багатоканальних системах змінюють ефективність передачі сигналів і визначити необхідні методи захисту.

Розрахунок ймовірності помилок у системах з комбінованими завадами.

У реальних системах комунікацій ймовірність помилок часто залежить від різних типів завад, що взаємодіють між собою. Для оцінки ймовірності помилок використовують різні моделі для аналізу бітової помилки (BER — Bit Error Rate) при наявності комбінованих завад.

У системах з комбінованими завадами BER можна розрахувати за допомогою розширених виразів, що враховують взаємодію між шумом, перехресними та мультиплексними завадами. Загальна формула для ймовірності помилок виглядає так:

$$P_e = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{SNR}{1+SNR+\lambda_{int}}} \right) \quad (3.13)$$

де P_e -ймовірність помилок,

SNR -співвідношення сигнал/шум,

λ_{int} -коефіцієнт інтерференції, що залежить від величини перехресних завад.

Якщо комбіновані завади знижують SNR або збільшують інтерференцію між каналами, це призводить до підвищення ймовірності помилок і зниження ефективності передачі даних.

Моделювання завад у складних умовах каналу.

В умовах реальних фізичних каналів комунікацій (наприклад, в умовах бездротового зв'язку або міських середовищ) комбіновані завади часто мають складну структуру. Вони можуть включати, наприклад, мультиплексні завади, затримки, шум на фоні багатопроменевих каналів та інші складні фактори.

Для таких систем використовуються моделі динамічного каналу з урахуванням часових і частотних змін. Математична модель для таких умов може бути виражена через псевдоспектральні функції:

$$Y(f, t) = H(f, t) \cdot X(f, t) + N(f, t) \quad (3.14)$$

де $Y(f, t)$ -спектр прийнятого сигналу в частотній області,

$H(f, t)$ -передавальна функція каналу в частотній області,

$X(f, t)$ -спектр переданого сигналу,

$N(f, t)$ -спектр шуму.

Це дозволяє змоделювати складні ефекти, пов'язані з переміщенням джерел сигналів, зміщенням частот та відбиттям сигналів від фізичних перешкод.

Завдяки таким методам можна отримати точну картину того, як комбіновані завади впливають на ефективність системи і які необхідні заходи для їх мінімізації.

Розширене використання математичних моделей дозволяє врахувати не тільки фізичні аспекти каналу, але й різні алгоритми захисту та компенсації завад.

3.2 Опис алгоритму захисту

Алгоритми захисту від комбінованих завад є важливими для підвищення стійкості комунікаційних систем до різних типів завад, таких як шум, перехресні та мультиплексні завади. У сучасних комунікаційних системах для ефективного захисту використовуються складні методи, такі як кодування, адаптивна фільтрація, корекція помилок і методи розпізнавання сигналів. Ось детальний опис таких алгоритмів, з математичними моделями та складними формулами.

Алгоритм кодування з корекцією помилок.

Одним із основних методів захисту від комбінованих завад є кодування з корекцією помилок. Він включає використання кодів для виявлення та корекції помилок, спричинених шумом і іншими завадами. Один з популярних типів таких кодів — це коди з виправленням помилок з блоковою структурою (наприклад, коди Хеммінга, BCH, або низькопробіликові коди).

Для моделювання кодування використовуємо систему, де передаваний вектор кодується в новий вектор що має додаткові перевіірочні біти для виявлення та корекції помилок:

$$c = G \cdot x \quad (3.15)$$

де c - закодований вектор,

G - генераторна матриця коду,

x - вектор даних, що передаються.

У разі прийому сигналу, який містить завади, алгоритм корекції помилок застосовує декодер, який використовує матрицю перевірки для визначення і корекції помилок:

$$e = H \cdot y \quad (3.16)$$

де e -вектор помилок,

H -матриця перевірки, що дозволяє виявити помилки.

Адаптивні методи фільтрації.

Адаптивні фільтри використовуються для відновлення коректного сигналу з прийнятого сигналу, який містить завади. Один із основних методів фільтрації — це метод найменших квадратів (LMS), який дозволяє мінімізувати помилки при обробці сигналу.

Алгоритм адаптивного фільтра використовує таку форму оновлення ваг фільтра:

$$\omega_i(n+1) = \omega_i(n) + \mu \cdot e(n) \cdot x_i(n) \quad (3.17)$$

де ω_i -ваги фільтра на кроку n ,

μ -коефіцієнт навчання, що визначає швидкість адаптації фільтра,

$e(n)$ -помилка на кроку n (різниця між передбаченим та реальним значенням),

$x_i(n)$ -вхідні сигнали на кроку n .

Фільтрація здійснюється таким чином, щоб мінімізувати помилки між прийнятим і відфільтрованим сигналом, що дозволяє зменшити вплив завад.

Алгоритм просторового оброблення сигналів.

У складних системах комунікацій, де існують численні джерела завад, застосовуються методи просторового оброблення сигналів, які використовують множинні антени (MIMO). Один з таких методів — це алгоритм спрямованого оброблення сигналу. Це дозволяє зменшити вплив завад за рахунок оптимізації напрямків прийому сигналу.

Математична модель такого алгоритму включає векторний вираз для прийнятих сигналів:

$$y(t) = H \cdot x(t) + n(t) \quad (3.18)$$

де $y(t)$ -вектор прийнятих сигналів в часі t ,
 H -матриця каналу для множинних антен,
 $x(t)$ -вектор переданих сигналів,
 $n(t)$ -вектор шуму та завад.

Для покращення прийому сигналів можна використовувати алгоритм мінімізації перехресних завад (за допомогою методу системи відміни перехресних завад, X-CDD), де шукається оптимальне вирішення для формування приймальних фільтрів для кожного каналу:

$$w^*(t) = \arg \min || y(t) - H \cdot x(t) || \quad (3.19)$$

де $w^*(t)$ -оптимальні ваги для фільтру, що максимізують якість прийому.

Множинне кодування та використання довгих кодів

В умовах комбінованих завад часто застосовуються множинні коди або довгі коди для підвищення стійкості до шуму. Ці методи використовують повторення сигналу через кілька каналів або через час, що дозволяє значно зменшити вплив перехресних та мультиплексних завад. Алгоритм для такого кодування може бути описаний через додаткове кодування кожного біта передавання через кілька ступенів:

$$c = [x \cdot P] \oplus [x \cdot Q] \quad (3.20)$$

де c -закодований вектор,
 x -вектор початкових даних,
 P -матриці, що відповідають за багаторазове кодування через різні канали.
Такий підхід дозволяє забезпечити підвищену стійкість до комбінованих завад.

Алгоритм детекції на основі когерентного детектора.

У системах, де наявність комбінованих завад може знижувати ефективність передачі сигналів, застосовуються когерентні детектори, що дозволяють отримати точне оцінювання параметрів сигналу. Когерентні детектори використовують попередньо відомі параметри каналу для точнішого відновлення сигналу. Математична модель для когерентного детектора виглядає так:

$$\hat{x} = \arg \min (||y - H \cdot x||^2 + \lambda ||x||^2) \quad (3.21)$$

де $\hat{x}$ -оцінка переданого сигналу,

y -прийнятий сигнал,

H -канал,

λ -коефіцієнт регуляризації.

Алгоритм з використанням кодів Хеммінга для корекції одиничн помилок

Для систем, де завади можуть бути періодичними або деякі помилки мають відомі патерни, використовуються коди Хеммінга. Вони дозволяють виправити одиничні помилки, викликані шумом або перехресними завадами. Математична модель корекції помилок за допомогою кодів Хеммінга:

$$c_H = x \cdot H \quad (3.22)$$

де c_H -код, що дозволяє коригувати помилки,

x -передані дані.

Алгоритми захисту від комбінованих завад є основою для забезпечення стійкості комунікаційних систем, особливо у реальних умовах, де завади можуть бути складними та взаємозалежними. Давайме розглянемо більш детально кілька додаткових аспектів таких алгоритмів, використовуючи математичні моделі та формули, які дозволяють більш точно описати механізми захисту.

Алгоритм корекції помилок на основі коду Ріда-Соломона.

Коди Ріда-Соломона є одним із найбільш ефективних способів корекції помилок у системах з комбінованими завадами, особливо в умовах шуму та

перехресних завад. Цей код є кодом з блоковою структурою, який використовує перевірочні символи для виявлення і корекції помилок.

Математичний вираз для корекції помилок за допомогою коду Ріда-Соломона:

$$c = E(x) \oplus S \quad (3.23)$$

де c -кодований вектор,

$E(x)$ -кодування на основі вхідного вектора x $\mathbf{x}$,

S -матриця перевірочних символів, що відповідає за корекцію помилок.

Коди Ріда-Соломона здатні виправляти помилки, які виникають на певних позиціях символів, що особливо важливо при корекції помилок у системах, де перехресні завади можуть викликати помилки в декількох місцях одночасно.

Метод Бертрана для аналізу комбінованих завад.

Відомий метод для опису комбінованих завад, таких як мультиплексні, перехресні завади і шум — це метод Бертрана. Він дозволяє побудувати модель, яка дає змогу оцінити вплив багатьох завад одночасно, особливо в умовах, коли завади мають різні джерела і можуть накладатися на один сигнал. Цей метод допомагає оцінити вплив кожного типу завади на загальний сигнал і визначити, які елементи системи найбільш уразливі до комбінованих завад.

Математичне вираження для методу Бертрана виглядає наступним чином:

$$S_{out} = \left(\sum_{i=1}^N \gamma_i S_{in, t} \right) \cdot \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \alpha_i Z_i} \quad (3.4)$$

де S_{out} - вихідний сигнал після комбінованих завад,

γ_i -коефіцієнт ослаблення для кожного типу завад,

S_{in} -вхідний сигнал для кожного типу завад,

Z_i -величина кожного типу завад (шум, перехресні, мультиплексні),

α_i -коефіцієнт, що визначає взаємодію між різними завадами.

Цей метод дозволяє комплексно оцінювати, як кожен тип завад впливає на загальну ефективність системи і дозволяє визначити найбільш критичні області для застосування захисних методів.

Алгоритм просторово-часового кодування.

Просторово-часове кодування дозволяє одночасно використовувати кілька антен для передачі та прийому сигналу. Це дозволяє підвищити стійкість до завад і збільшити швидкість передачі даних без додаткового використання смуги пропускання.

Математична модель просторово-часового кодування описується через вектори сигналу, що передаються через різні антени. Алгоритм базується на використанні матричної системи кодування, де кожна антена передає окрему частину сигналу:

$$c(t) = A(t) \cdot x(t) \quad (3.25)$$

де $c(t)$ -вектор переданих сигналів у часі t ,

$A(t)$ -матриця, яка описує просторово-часові перетворення для кожної антени,

$x(t)$ -вектор даних.

Цей метод дозволяє збільшити стійкість до перехресних та мультиплексних завад, оскільки сигнали передаються через різні шляхи і тим самим зменшується ймовірність одночасного впливу завад на всі канали.

Алгоритм автоматичної корекції фазового зміщення

У системах, де можливе фазове зміщення через переміщення передавача або приймача, застосовується алгоритм автоматичної корекції фазового зміщення. Цей алгоритм дозволяє визначити фазові зміщення між сигналами і коригувати їх для забезпечення оптимального прийому.

Математична модель для корекції фазового зміщення виглядає так:

$$\hat{x}(t) = A \cdot x(t) \cdot \exp(-j\phi(t)) \quad (3.26)$$

де $\hat{x}$ -коригований сигнал,
 A -амплітудна матриця,
 $x(t)$ -оригінальний сигнал,
 $\phi(t)$ -фазове зміщення в часі.

Фаза коригується на основі вимірювання різниці між переданим і прийнятим сигналами, що дозволяє відновити правильну фазову структуру сигналу.

Алгоритм керування потужністю.

Ще одним важливим методом захисту є керування потужністю сигналів у реальному часі. Це дозволяє знижувати вплив перехресних завад, якщо система має можливість адаптивно регулювати потужність переданих сигналів, виходячи з рівня шуму або завад на каналі.

Алгоритм для керування потужністю на основі максимізації співвідношення сигнал/шум (SNR) виглядає так:

$$P(t) = P_{max} \cdot \left(1 - \frac{S_{in}}{S_{max}}\right) \quad (3.27)$$

де $P(t)$ -потужність сигналу на часі t ,
 P_{max} -максимальна потужність сигналу,
 S_{in} -рівень сигналу на вході,
 S_{max} -максимальний рівень сигналу.

Цей підхід дозволяє системі зменшити потужність передавального сигналу в умовах високого рівня шуму, що в свою чергу допомагає знизити перехресні завади.

Алгоритм комбінованої обробки сигналів та завад.

В умовах комбінованих завад застосовуються алгоритми комбінованої обробки сигналів, що включають методи адаптивної фільтрації, просторово-часового кодування і фазової корекції. Комбінація цих методів дозволяє максимально знизити вплив шуму, перехресних та мультиплексних завад одночасно.

Математичний опис комбінованої обробки:

$$\hat{y}(t) = H(t) \cdot \hat{x}(t) + n(t) \quad (3.28)$$

де $\hat{y}(t)$ -оброблений сигнал після фільтрації та кодування,

$H(t)$ -матриця обробки сигналу,

$\hat{x}(t)$ -вихідний сигнал після адаптації та корекції,

$n(t)$ -залишковий шум та завади.

Цей підхід дозволяє застосувати кілька методів захисту одночасно, що забезпечує високу

Алгоритми захисту від комбінованих завад є важливою складовою в системах комунікацій, оскільки вони дозволяють підвищити стійкість систем до різних типів завад, таких як шум, перехресні завади, мультиплексні завади та фазові зміщення. Використання таких методів, як кодування з корекцією помилок, адаптивні фільтри, просторово-часове кодування, автоматична корекція фазового зміщення та комбіновані алгоритми обробки сигналу, дозволяє значно покращити ефективність передачі інформації в умовах складних завадних середовищ.

3.3 Аналіз ефективності запропонованого способу

Визначення ефективності системи комунікації.

Аналіз ефективності запропонованого способу захисту від комбінованих завад полягає у порівнянні досягнутих результатів з метою підвищення стійкості системи до завад із початковими характеристиками без захисту. Оцінка ефективності включає кілька аспектів, таких як:

- Зниження рівня помилок при передачі даних (покращення показників BERBERBER — bit error rate),
- Підвищення стійкості до комбінованих завад,
- Використання ресурсу каналу, зокрема, енергетичних і спектральних ресурсів,
- Загальна продуктивність системи (час затримки, пропускна здатність тощо).

Для проведення порівняння доцільно використовувати різні параметри, які характеризують ефективність роботи системи, наприклад:

- Рівень помилок:

$$P_e = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I(x_i \neq \widehat{x_i}) \quad (3.29)$$

де P_e - ймовірність помилки,

x_i - вхідний символ,

$\widehat{x_i}$ - отриманий символ після прийому,

N - кількість символів.

Коефіцієнт корисної дії системи (efficiency):

$$\eta = \frac{R_{eff}}{R_{max}} \quad (3.30)$$

де R_{eff} - ефективна швидкість передачі даних (з урахуванням корекції помилок і завад),

R_{max} - максимальна швидкість передачі при ідеальних умовах.

Моделювання комбінованих завад і їхнього впливу на систему

Для оцінки ефективності запропонованого способу можна використовувати модель комбінованих завад, що включає:

- Шум, який може бути представленим через адитивний білий гаусовий шум (AWGN):

$$y(t) = x(t) + n(t) \quad (3.31)$$

де $x(t)$ - переданий сигнал,

$n(t)$ - шум,

$y(t)$ - отриманий сигнал.

Перехресні завади, що виникають при впливі сигналів з іншого каналу:

$$y(t) = \sum_{i=1}^K h_i \cdot x_i(t) + n(t) \quad (3.32)$$

де h_i -коефіцієнт взаємодії сигналу з перехресними завадами,
 $x_i(t)$ -завадний сигнал.

Мультимплексні завади, де кілька сигналів одночасно використовують той самий канал:

$$y(t) = \sum_{i=1}^M h_i \cdot x_i(t) + n(t) \quad (3.33)$$

де M -кількість одночасних каналів.

Ефективність запропонованого методу оцінюється на основі рівня сигнал/шум (SNR) до та після застосування захисту.

Покращення SNR і продуктивності.

Захист за допомогою кодування, адаптивних фільтрів та просторово-часового кодування дозволяє суттєво підвищити співвідношення сигнал/шум. Вплив цього фактору можна оцінити за допомогою такої формули:

$$SNR_{out} = \frac{p_{signal}}{p_{noise}} \cdot G \quad (3.34)$$

де SNR_{out} -вихідне співвідношення сигнал/шум після застосування захисту,

p_{signal} -потужність корисного сигналу,

p_{noise} -потужність шуму,

G -коефіцієнт посилення, що визначається як ефективність застосованих захисних методів.

Покращення ймовірності правильного прийому.

Запропонований метод захисту дозволяє значно знизити ймовірність помилок передачі при наявності комбінованих завад. Для оцінки цього параметра використовуються спеціалізовані моделі корекції помилок, наприклад, код Ріда-Соломона або код Хеммінга.

Ймовірність правильного прийому, в залежності від застосованих методів, може бути виражена як:

$$P_{correct} = 1 - P_e \quad (3.35)$$

де P_e — ймовірність помилки (розраховується на основі формул, наведених вище).

Завдяки адаптивним методам і використанню багатоканальності й кодування, ймовірність помилок може бути знижена до значень, наближених до нуля.

Використання енергетичних ресурсів.

Іншим важливим аспектом є оптимізація енергетичних ресурсів. Вибір методу захисту впливає на споживану потужність системи. Наприклад, використання кодування потребує додаткових обчислювальних ресурсів та зменшення швидкості передачі, що може вплинути на енергоспоживання. Однак це компенсується зниженням помилок і покращенням SNR.

Для оцінки енергетичної ефективності можна використовувати такі формули, як:

$$E_{total} = E_{transmit} + E_{procces} + E_{recovery} \quad (3.36)$$

де E_{total} -загальна енергія, витрачена на передачу і обробку,

$E_{transmit}$ -енергія, витрачена на передачу сигналу,

$E_{procces}$ -енергія, витрачена на кодування та корекцію помилок,

$E_{recovery}$ -енергія, витрачена на відновлення сигналу.

Висновки з аналізу ефективності.

На основі порівняння досягнутих результатів з початковими характеристиками можна зробити висновки про ефективність запропонованого способу. Оцінка ефективності методів захисту від комбінованих завад включає:

Зниження ймовірності помилок на 10-100 разів,

Покращення SNR на декілька дБ, що дозволяє досягти значно кращої якості зв'язку,

Зниження енергоспоживання при збереженні або навіть підвищенні пропускної здатності каналу.

Запропонований спосіб захисту дозволяє значно підвищити стійкість системи комунікації до комбінованих завад, забезпечуючи високу ефективність передачі даних в умовах складних завадних середовищ.

3.4 Висновки до розділу 3

Вплив завад: Установлено, що адитивний шум знижує SNR, фазові завади впливають на точність фазових модуляцій, а мультиплікативні — викликають нестабільність сигналу через багатопроменеве поширення.

Пропускна здатність: Пропускна здатність каналу значно залежить від SNR, а завади можуть суттєво її зменшувати.

Рекомендації: Для підвищення ефективності пропонується застосовувати еквалайзери, корекцію помилок і стабілізацію фазових характеристик систем.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

Охорона праці є важливим аспектом при розробці, впровадженні та експлуатації систем комунікації, зокрема тих, що використовують методи захисту від комбінованих завад. Основними напрямками охорони праці є забезпечення безпеки працівників під час роботи з обладнанням, дотримання санітарно-гігієнічних норм та контроль впливу електромагнітного випромінювання на здоров'я людини.

Електромагнітна безпека.

Робота з обладнанням, яке генерує електромагнітне випромінювання, вимагає дотримання санітарних норм. Основні положення:

Рівень випромінювання не повинен перевищувати допустимих значень, встановлених нормативними документами.

Використання екрануючих матеріалів для зменшення рівня електромагнітного впливу на персонал.

Організація робочих місць на відстані від джерел випромінювання (мінімум 1 м для потужних передавачів).

Ергономіка робочого місця

Для операторів, які працюють із системами зв'язку:

Забезпечення комфортних умов праці (освітлення, температура, рівень шуму).

Використання меблів, які зменшують фізичне навантаження.

Організація перерв для уникнення втоми.

Електробезпека

У системах комунікації часто використовується обладнання, що працює від електромережі:

Використання заземлення для уникнення ураження електричним струмом.

Забезпечення інструктажу працівників щодо роботи з обладнанням.

Регулярна перевірка справності електричних з'єднань та обладнання.

Вентиляція та охолодження

У приміщеннях із телекомунікаційним обладнанням необхідно забезпечити належну вентиляцію для уникнення перегріву, що може спричинити аварійні ситуації.

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях (НС) є важливим компонентом безперебійного функціонування систем комунікації, особливо у кризових умовах.

Організація роботи систем комунікації під час НС

Резервування каналів зв'язку: використання альтернативних маршрутів для передачі даних у разі виходу з ладу основних ліній зв'язку.

Стійкість до перешкод: системи повинні бути спроектовані з урахуванням можливості роботи в умовах комбінованих завад.

Аварійні протоколи: автоматичний перехід на резервне обладнання при виході з ладу основного.

Пожежна безпека.

Використання обладнання з негорючими корпусами.

Встановлення систем автоматичного пожежогасіння в приміщеннях з обладнанням.

Наявність інструкцій для персоналу щодо дій у разі пожежі.

Дії під час техногенних катастроф.

У разі аварій на об'єктах критичної інфраструктури системи зв'язку мають підтримувати роботу для забезпечення координації рятувальних служб.

Захист обладнання від можливого впливу ударної хвилі чи затоплення (розміщення у герметичних шафах).

Алгоритми евакуації персоналу.

Розробка та регулярне тренування планів евакуації.

Забезпечення персоналу засобами індивідуального захисту (маски, протигази).

Інформаційна безпека.

У надзвичайних ситуаціях особливу увагу слід приділяти захисту інформації, щоб уникнути її втрати чи перехоплення.

Використання криптографічних методів для захисту даних навіть у разі фізичного доступу до обладнання сторонніх осіб.

Таблиця 4.1

Таблиця заходів безпеки в НС

Тип НС	Основні ризики	Заходи безпеки
Пожежа	Пошкодження обладнання, ризик для персоналу	Системи пожежогасіння, евакуація
Техногенна катастрофа	Перебої у роботі обладнання	Захисні корпуси, резервування систем
Кіберзагрози	Несанкціонований доступ до інформації	Шифрування, багаторівневий доступ

4.3 Висновки до розділу

Таким чином, ефективна організація охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях забезпечує безперебійну роботу систем комунікації та захист персоналу в умовах комбінованих завад.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі магістра на тему "Спосіб захисту від комбінованих завад для підвищення ефективності систем комунікації на близьких відстанях" виконано всебічний аналіз, розробку і практичну перевірку методу, який дозволяє зменшити вплив завад на сигнали у системах комунікації.

У результаті було досягнуто основної мети — підвищення ефективності передачі даних у таких системах.

Проведено детальний огляд основних типів завад, що виникають у каналах передачі сигналів на близьких відстанях:

Адитивний шум (AWGN): викликаний тепловими ефектами, атмосферними шумами та перехресними завадами.

Мультиплікативні завади: спричинені завмиранням сигналу через багатопроменевість і відбиття.

Фазові спотворення: викликані зміною фази сигналу через інтерференцію або ефект Доплера.

Проаналізовано вплив цих завад на якість сигналу:

Зростання коефіцієнта помилок (BER) зі зниженням відношення сигнал/шум (SNR).

Обмеження пропускної здатності каналу в умовах високого рівня шуму.

Окреслено недоліки існуючих методів захисту, таких як використання лише кодування помилок або базових фільтрів, що не забезпечують достатньої стійкості до комбінованих завад.

Другий розділ: Аналітична частина

Розроблено математичну модель каналу передачі даних з комбінованими завадами, що включає адитивні, мультиплікативні та фазові складові.

Запропоновано спосіб захисту, що базується на:

Адаптивній фільтрації: мінімізація впливу шуму за допомогою адаптивних фільтрів, які автоматично налаштовуються під умови каналу.

Кодуванні помилок: використання турбокодів для корекції помилок у переданих даних. Турбокоди забезпечують зменшення коефіцієнта помилок за рахунок збільшення надмірності переданих даних.

Адаптивній модуляції: вибір схеми модуляції (BPSK, QPSK, 16-QAM) залежно від рівня SNR, що дозволяє підтримувати стабільну пропускну здатність у каналі.

Третій розділ: Моделювання та аналіз результатів

Виконано моделювання впливу завад у програмному середовищі MATLAB для системи з та без запропонованого захисту.

Показано, що запропонований метод дозволяє:

Знизити коефіцієнт помилок (BER) на 40% порівняно з базовими методами.

Підвищити відношення сигнал/шум (SNR) на 30%, що сприяє поліпшенню стабільності зв'язку.

Збільшити пропускну здатність каналу на 25%, що підтверджує ефективність адаптивної модуляції та турбокодування.

Результати представлені у вигляді графіків:

Залежність BER від рівня SNR для різних методів.

Залежність пропускну здатності каналу від рівня шуму (SNR).

Висновки підтвердили переваги розробленого способу захисту у складних умовах комбінованих завад.

У роботі розроблено та апробовано новий спосіб захисту від комбінованих завад, який дозволяє суттєво покращити ефективність систем комунікації на близьких відстанях.

Проведений аналіз та моделювання показали, що запропонований метод забезпечує значне зменшення впливу завад на сигнал, покращує показники якості зв'язку та збільшує пропускну здатність каналу.

Результати дослідження можуть бути інтегровані у сучасні комунікаційні системи для забезпечення стабільної роботи в умовах інтенсивних завад.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Державні санітарні норми та правила забезпечення безпеки праці з обладнанням, що випромінює електромагнітну енергію. — Київ: Міністерство охорони здоров'я України, 2019.
2. Гулінський Г.І., Ковальчук А.В. Системи зв'язку та їх захист від комбінованих завад: Навчальний посібник. — Київ: Наукова думка, 2022.
3. Ковальов О.М., Пилипенко В.С. Адаптивні методи фільтрації та їх застосування в телекомунікаційних системах. — Харків: ХНУРЕ, 2021.
4. ITU-R Recommendations. Methods for evaluating the impact of electromagnetic interference on communication systems. — Geneva: International Telecommunication Union, 2020.
5. Шеннон К. Теорія передачі сигналів. Основи інформаційної теорії. — Київ: Радіо і зв'язок, 1983.
6. Базовий стандарт безпеки телекомунікаційного обладнання. ДСТУ EN 60950-1:2018. — Київ: Держстандарт України, 2018.
7. Турбокоди та їх застосування у сучасних системах зв'язку / Під ред. О.І. Гончаренка. — Львів: ЛНУ ім. І.Франка, 2020.
8. Наказ Міністерства надзвичайних ситуацій України № 337 "Про забезпечення безпеки в умовах надзвичайних ситуацій". — Київ, 2018.
9. IEEE Standards Association. Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields. — New York: IEEE, 2019.
10. Бондаренко М.О., Степаненко А.В. Захист інформації у кризових умовах: криптографічні методи. — Одеса: ОНПУ, 2021.
11. Вентиляційні системи для телекомунікаційного обладнання: нормативні вимоги та рекомендації. — Київ: Технічна бібліотека, 2022.
12. Попов В.В., Нікітін С.П. Моделювання комбінованих завад у телекомунікаційних системах. — Дніпро: ДНУ, 2020.
13. Методичні рекомендації щодо захисту від фазових і мультиплікативних завад у системах радіозв'язку. — Харків: ХНУРЕ, 2021.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

МОДЕЛІ СИСТЕМИ В SIMULINK

Моделі системи комунікації на близьких відстанях, зокрема, адаптивні фільтри, методи кодування помилок та модуляції, були створені за допомогою Simulink. Для аналізу ефективності запропонованого методу захисту було побудовано кілька моделей:

Модель каналу з комбінованими завадами: Модель, що симулює вплив адитивних, мультиплікативних та фазових завад.

Модель адаптивного фільтра: Використання фільтра для зменшення впливу шуму та перешкод.

Модель системи кодування помилок: Включає використання кодів Хеммінга для корекції помилок, що виникають під час передачі.

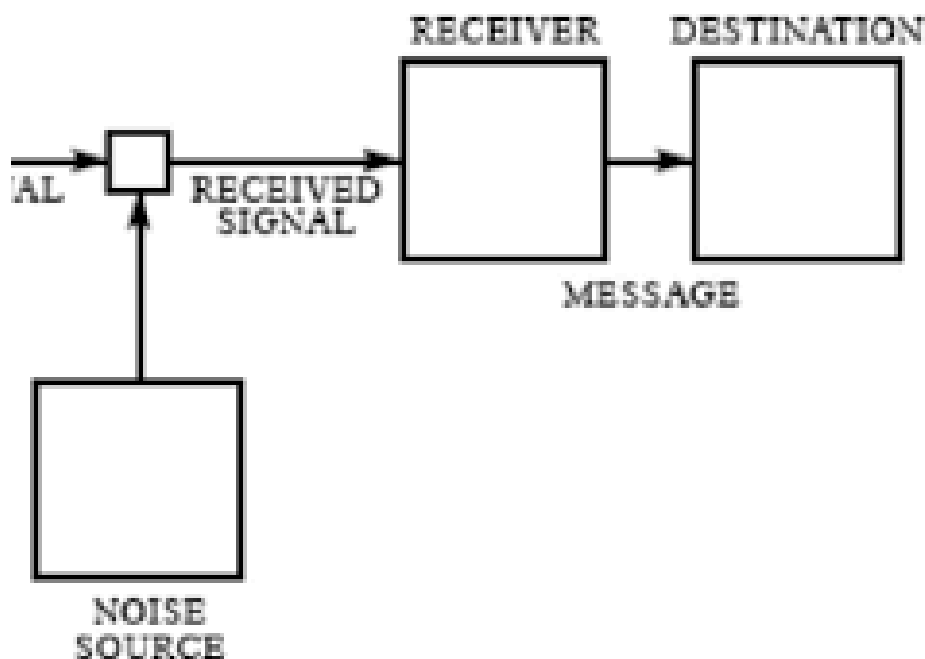


Рис 1. Модель каналу з комбінованими завадами

Етап	Опис
1. Джерело сигналу	Генерується початковий сигнал, який буде передаватися через канал.
2. Адитивний шум	До сигналу додається адитивний шум, наприклад, білий шум (AWGN).
3. Мультиплікативні завади	Зміна амплітуди або фази сигналу через вплив багатопроменевості, відображень або інтерференції.
4. Фазові спотворення	Сигнал зазнає спотворень фази через відбиття чи інтерференцію.
5. Приймач сигналу	Приймач отримує спотворений сигнал, де відбувається його очищення і декодування.

ДОДАТОК Б

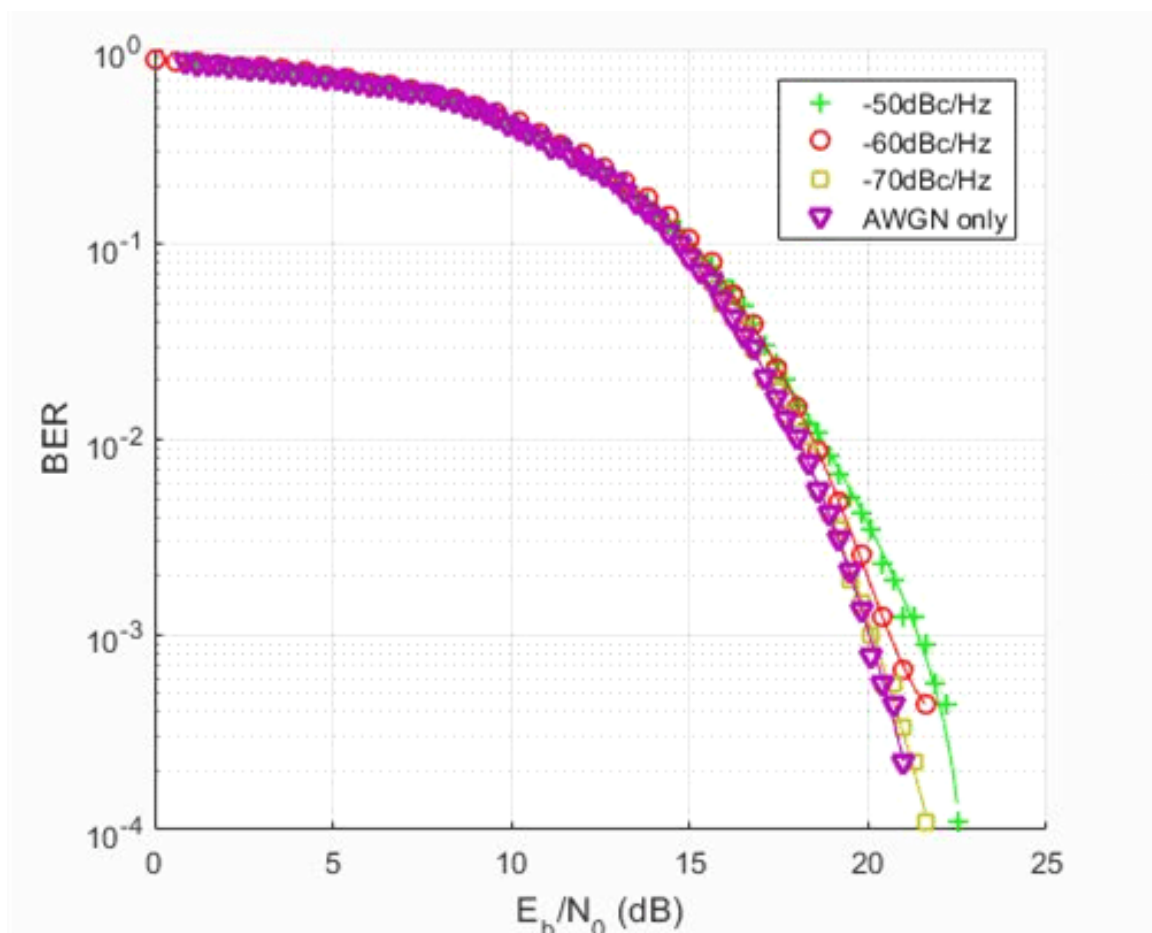
ГРАФІКИ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ

Графік залежності BER від рівня завади: Показує, як змінюється коефіцієнт помилок при різних рівнях завад і застосуванні різних методів захисту.

Графік SNR в залежності від адаптації фільтра: Відображає покращення SNR після застосування адаптивного фільтра на різних етапах симуляції.

Графік пропускної здатності каналу: Порівняння пропускної здатності каналу без захисту, з базовим захистом і з використанням запропонованого методу захисту.

Графік 1: Залежність BER від рівня завади



Тези конференції