

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Радіотехнічний факультет  
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури  
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»  
УДК 624

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

С.А. Нелін  
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ 16 ” 12 2019 р.

Магістерська дисертація

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка  
за освітньою програмою ( спеціалізацією) Інтелектуальні технології  
мікросистемної радіоелектронної техніки (код і назва спеціальності)

на тему: Моделювання системи радіозв'язу з кодовим  
розділенням каналів

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи PI-81 мп  
(шифр групи)

Шкуренко Ігор Миколайович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Науковий керівник ст. викл. Толвка Вікторія Миколаївна  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Консультант з охорони праці к.т.н., доцент Каштанов С.Ф.  
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Рецензент доц. каф. РОС, к.т.н. Машевська Н.О.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.  
Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»

Факультет (інститут) радіотехнічний факультет  
(повна назва)

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною  
програмою

За спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

За освітньою програмою ( спеціалізацією) Інтелектуальні технології  
мікросистемної радіоелектронної техніки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

С. А. Нелін  
(ініціали, прізвище)

02 вересня 2019р.

**ЗАВДАННЯ**

на магістерську дисертацію студенту

Шнуренко Ігор Миколайович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Модельвання систем радіозв'язку з  
кабелом розподіленим каналів

науковий керівник дисертації ст. викп. Головка Вікторія Миколаївна  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «12» 11 2019 р. №3881-с

2. Строк подання студентом дисертації 16 грудня 2019р.

3. Об'єкт дослідження система радіозв'язку з кабелем  
розподіленим каналів

4. Предмет дослідження (вихідні дані для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) інтеграції характеристик систем розробки з CRM-системою

5. Перелік завдань, які потрібно розробити вигляд аналітичного огляду даних; вибір моделі поширення сигналів у мережах; корвін розробки каналів; провести аналіз зв'язу в системі; обґрунтувати та змодельувати інтеграції характеристик, цільово кількісно моделювати.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного (графічного) матеріалу презентація, 12 слайдів

7. Орієнтовний перелік публікацій

8. Консультанти розділів дисертації\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
3 охорони праці	Каштанов С.Ф., доцент, к.т.н.		

9. Дата видачі завдання 02 вересня 2019 року

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Аналітичний огляд даних по розділу 1.3	06.2019	виконано
2.	Вибір моделі поширення сигналів	09.2019	
3.	Моделювання інтеграції характеристик	10.2019	виконано
4.	Кількісне моделювання характеристик	11.2019	
5.	Обґрунтування та підготовка до захисту	12.2019	

Студент

Науковий керівник дисертації

(підпис)

(підпис)

Шуренко І.М.

(ініціали, прізвище)

В.М.Топович

(ініціали, прізвище)

\* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 101 с., 39 рис., 23 табл., 2 додатки, 50 джерел

**Актуальність теми** зумовлена активним розвитком бездротових технологій передачі інформації та необхідністю їх дослідження.

**Метою роботи** є дослідження інтегральних характеристик систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів для знаходження можливого способу зменшення собівартості.

Для досягнення поставленої мети розв'язуються такі завдання: провести аналітичний огляд інформаційних джерел за темою дисертації; дослідити можливість використання OFDM-модуляції для моделювання системи радіозв'язку та створення всередині неї умов, в яких наші дослідження будуть максимально приближені до реалістичних;

**Об'єктом дослідження** є система радіозв'язку з кодовим розділенням каналів.

**Предметом дослідження** є інтегральні характеристики системи з OFDM-модуляцією.

**Методами дослідження** є методи математичного аналізу – для вибору моделі радіоканалу, та математичної статистики – для обробки результатів вимірювань; методи комп'ютерного моделювання із застосуванням Matlab2018 – для моделювання передачі інформації через канал зв'язку.

**Наукова новизна** одержаних результатів полягає у дослідженні інтегральних характеристик і зменшенні вартості таких досліджень.

**Практичне значення** of the results obtained. The model of integral characteristics, their analysis, and the possibility of their calculation at much lower cost are offered.

**Ключові слова:** інтегральні характеристики, 5G.

## ABSTRACT

Master's dissertation: 101 pages, 39 figures, 23 tables, 2 attachments, 50 sources

**The urgency of the topic** due to the active development of wireless information transfer technologies and the need for their research.

**The purpose of this work** research on the integrated characteristics of radio coded channel division systems to find a possible way to reduce cost.

To achieve this goal, the following tasks are undertaken: to conduct an analytical review of information sources on the topic of the dissertation; explore the possibility of using OFDM modulation to model a radio system and create an all-in-one environment in which our studies are as close as possible to realistic ones;

**The object** of research is the channel coded radio communication system.

**The subject** is the integrated system characteristics with OFDM modulation.

**Methods of research** are methods of mathematical analysis - to select the radio channel model, and mathematical statistics - to process the measurement results; computer simulation techniques using Matlab2018 - to model the transmission of information through a communication channel.

**The scientific novelty** of the obtained results is to study the integral characteristics and reduce the cost of such studies.

**The practical value of the results.** The model of the radio communication system and mathematical calculations are offered, which are better than the known ones and can improve the speed and quality of information transmission.

**Key words:** integrated characteristics, 5G.

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

**до магістерської дисертації**

на тему: «Моделювання систем радіозв'язку з кодовим  
розділенням каналів»

Київ — 2019 року

## ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ .....	7
ВСТУП .....	9
<b>1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ .....</b>	<b>11</b>
1.1 Основні поняття та визначення .....	11
1.2 Види радіозв'язку та класифікація систем зв'язку .....	17
1.3 Багатостанційний доступ з частотним розділенням каналів .....	19
1.4 Багатостанційний доступ із часовим розділенням каналів .....	22
1.5 Багатостанційний доступ з кодовим розділенням каналів .....	25
1.6 OFDM модуляція.....	27
1.7 Порівняння мереж 4G та 5G .....	32
<b>2 АНАЛІЗ ІНТЕГРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК .....</b>	<b>34</b>
2.1 Похибка на біт інформації .....	34
2.1.1 Модель каналу радіоприйому ситем радіозв'язку з шумоподібними сигналами.....	35
2.2 Пропускна здатність .....	37
2.3 Рівень фазових шумів .....	40
2.4 Міжсимвольна інтерференція.....	42
2.5 Вузькосмугові завади .....	42
2.5.1 Способи опису перешкод .....	43
2.6 Спектральна ефективність .....	43
2.7 Рівень шуму .....	45
<b>3 ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ .....</b>	<b>46</b>
3.1 Задання спектру сигналів каналу зв'язку .....	47
3.2 Визначення рівня шуму та пропускної здатності каналу зв'язку .....	50
3.3 Оцінка спектральної ефективності каналу .....	51
3.4 Дослідження BER-характеристик каналу зв'язку .....	53

4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ .....	56
4.1 Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології) .....	56
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	57
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту .....	58
4.4 Розробка ринкової стратегії стартап проекту .....	64
4.5 Розроблення маркетингової програми .....	67
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	71
5.1 Визначення основних потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів при виконанні науково-дослідної роботи .....	71
5.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії.....	72
5.2.1 Електробезпека.....	72
5.2.2 Відповідність параметрів робочого приміщення діючим санітарним нормам.....	74
5.2.3 Мікроклімат робочої зони.....	75
5.2.4 Освітлення робочого місця .....	76
5.2.5 Заходи щодо нормалізації умов праці.....	79
5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях.....	81
5.3.1 Вимоги щодо організації ефективної роботи систем оповіщення персоналу у разі виникнення небезпечної ситуації .....	81
5.3.2 Обов'язки та дії персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації	83
5.3.3 Пожежна безпека.....	84
ВИСНОВКИ.....	87
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	88
ДОДАТОК А ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	94
ДОДАТОК Б ПРОГРАМНИЙ КОД MATLAB .....	98



## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

- БД – багатостанційний доступ;
- БДЗЧР – багатостанційний доступ з часовим розділенням каналів;
- БДКР – багатостанційний доступ з кодовим розділенням каналів;
- БДЧР – багатостанційний доступ з частотним розділенням каналів;
- БС — базова станція мобільного зв'язку;
- ЕМВ — електромагнітне випромінювання;
- ЗД – загальний демодулятор;
- ЗДПФ – зворотне дискретне перетворення Фур'є;
- ЗС – наземні станції;
- ІТ – інформаційні технології;
- КД – каналні детектори;
- МТ — мобільний термінал;
- НВЧ — надвисокочастотний;
- ПК — персональний комп'ютер;
- РС — радіометрична система;
- РСПІ — системи радіозв'язку і передачі інформації;
- РСЗ — рухома служба зв'язку;
- СКС – селектори каналних сигналів;
- СРЗ – системи радіозв'язку;
- ССЗ – супутникові системи зв'язку;
- СЩП — спектральна щільність потужності;
- СЩПШ — спектральна щільність потужності шуму;
- ФМ – фазова маніпуляція;
- ШПС – шумоподібні сигнали;
- ШПС – шумоподібні сигнали;
- FDD – дуплексування з частотним розділенням;
- FDMS – мультиплексування з модульованим частотним розділенням каналів;

FFT – швидке перетворення Фур'є;

IFFT – зворотне швидке перетворення Фур'є;

ISI – *intersymbol interference* (міжсимвольна інтерференція);

OFDM — *orthogonal frequency division multiplexing* (мультиплексування з ортогональним частотним розділенням каналів);

PBCH – фізичний канал трансляції сигналу;

PSS – первинний сигнал синхронізації;

SSS – вторинний сигнал синхронізації;

UFMC – унікальний фільтрований сигнал на декількох носійних.

Шнуренко І.М. РІ-81МП, 2019

## ВСТУП

З розвитком технічних засобів і можливостей, розвивається, і якість зв'язку, відомі стільникові мережі 3G, 4G, які широко впроваджені, та зараз їх потужностей не вистачає для обслуговування такої великої кількості абонентів. Тому настають питання про розвиток та впровадження мереж покоління 5G.

Але в зв'язку з цим, постає питання в створенні способу, який би дозволяв визначати інтегральні характеристики таких мереж, а саме – з кодовим розподіленням каналів. Відомі методи, що використовуються є занадто витратними, а також досить довготривалими.

Тому ця робота присвячена аналізу інтегральних характеристик, та пошуку способу вирішити визначені проблеми.

Таким чином, актуальність теми обумовлена популяризацією даного типу мережі, її розповсюдженням в найближчому часі по всьому світу. А отже, потрібно створити метод, який зможе, розрахувати інтегральні характеристики (похибка на біт інформації, пропускна здатність, рівень фазових шумів), та який буде обумовлений малою собівартістю, що досить важливо.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тема дисертаційної роботи пов'язана з планами наукових досліджень, що проводяться на кафедрі радіоконструювання та виробництва радіоапаратури КПІ ім. Ігоря Сікорського.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є дослідження та визначення інтегральних характеристик систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів.

Для досягнення поставленої мети розв'язуються такі завдання:

- провести аналітичний огляд систем радіозв'язку, що використовуються у самих розповсюджених галузях (промисловість, наука та техніка);
- обрати модель поширення сигналів у вибраній системі;

- провести комп'ютерне моделювання передачі інформаційного сигналу через систему радіозв'язку з кодовим розподілення каналів в середовищі пакету MatLab 2018b з розширенням 5G Toolbox;
- за результатами даних дослідження оцінити можливість зменшення витрат, для визначення обраних інтегральних характеристик.

**Об'єктом дослідження** є системи радіозв'язку з кодовим розділенням каналів.

**Предметом дослідження** є інтегральні характеристики системи радіозв'язку з кодовим розподілення каналів.

**Методами дослідження** є методи математичного аналізу – для вибору моделі радіоканалу, та математичної статистики – для обробки результатів вимірювань; методи комп'ютерного моделювання із застосуванням Matlab2018 – для моделювання передачі інформації через канал зв'язку.

**Наукова новизна** одержаних результатів полягає у дослідженні інтегральних характеристик і зменшенні вартості таких досліджень.

**Практичне значення** одержаних результатів. Запропоновано модель інтегральних характеристик, їх аналіз, та можливість їх прорахунку за значно меншою вартістю.

**Особистий внесок магістранта.** Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. У роботах, що опубліковані у співавторстві магістранту належить: дослідження інтегральних характеристик системи радіозв'язку з кодовим розділенням каналів.

# 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ

Останнім часом спостерігається постійний розвиток інформаційних технологій (ІТ) в усіх сферах нашого життя[1]. Це супроводжується не лише новими відкриттями, але й модернізацією вже існуючих рішень, що сприяють збільшенню швидкості передачі інформації в просторі. Особлива увага надається мережам 5-го покоління, які найближчим часом повноцінно ввійдуть в повсякденне життя кожної людини.

## 1.1 Основні поняття та визначення

Система радіозв'язку – сукупність радіоканалів, пристроїв обробки інформації, джерел і отримувачів повідомлень (Рис.1.1). Радіоканал (канал радіозв'язку) являє собою сукупність технічних засобів які забезпечують передачу сигналів від джерела до приймача інформації [2]. В якості технічних засобів в радіоканалі використовують радіостанції. Радіоканал, що забезпечує радіозв'язок в одному азимутному напрямку, називають радіолінією, а сукупність радіоліній, що працюють на одній, загальній для всіх абонентів, частоті або групі частот - радіомережею.

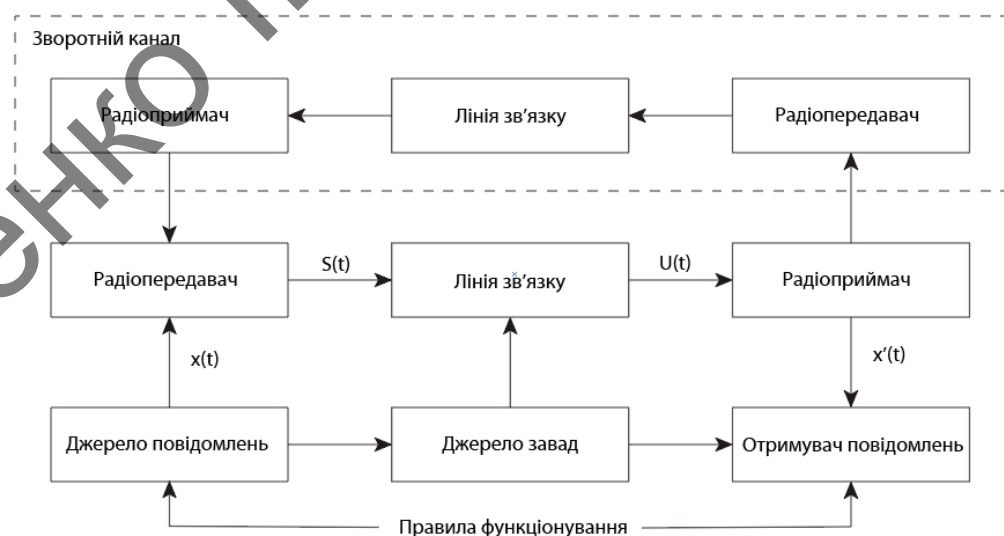


Рисунок 1.1 – Система радіозв'язку

Залежно від функціонального призначення, джерелом повідомлень в радіосистемі може бути як безперервне, так і дискретне джерело; але в тому і

в іншому випадку воно містить перетворювач неелектричної величини в електричну  $x(t)$  [3]. Передавальний пристрій в загальному випадку виконує операції кодування і модуляції, тобто перетворює  $x(t)$  в сигнал  $S(t)$ , (1.1)

$$S(t) = F[x(t), f(t)], \quad (1.1)$$

де  $f(t)$  - сигнал-розповсюджувач (сигнал на несучій частоті).

При передачі безперервних повідомлень цифровими методами, передавач здійснює також операції дискретизації за часом і квантування за рівнем, а при кодуванні інформації, передавач містить також кодувальні пристрої (коде-ри), причому в залежності від завдань кодування розрізняють кодер джерела повідомлень і кодер каналу [4].

Сигнал на вході приймача зазвичай представляють у вигляді (1.2)

$$U(t) = V[S(t), n(t)], \quad (1.2)$$

де  $n(t)$  характеризує вплив перешкод як апаратурних, так і діючих в лінії зв'язку.

У реальних лініях зв'язку сигнал  $S(t)$  спостерігається як на тлі адитивних шумів  $n(t)$ , що характеризуються певною функцією щільності розподілу ймовірності, так і мультиплікативний перешкод  $\mu(t)$ . Тому вираз (1.2) можна представити як (1.3)

$$U(t) = S(t)\mu(t) + n(t). \quad (1.3)$$

Приймальний пристрій призначений для виділення оцінки переданого повідомлення  $x'(t)$  з прийнятого сигналу  $U(t)$  і його дію описує оператор (1.4)

$$x'(t) = A[U(t)]. \quad (1.4)$$

Виділення оцінки переданого повідомлення в приймачі, в загальному випадку, здійснюється виконанням операцій демодуляції і декодування (демодулятором і декодером) [5], причому в РСПБ безперервних повідомлень при аналоговій модуляції сигнал на виході демодулятора практично збігається з переданим повідомленням. У системах передачі дискретних повідомлень сигнал після демодулятора необхідно декодувати.

Сукупність кодуючих і декодуючих пристроїв називають кодеком, а сукупність модулятора та демодулятора - модемом.

Як правило, сучасні РСШ крім прямого каналу містять зворотний канал, що дозволяє не тільки забезпечувати двосторонній обмін інформацією, а й підвищувати достовірність інформації, що передається за рахунок формування спеціальних інформаційних і керуючих команд [6]. Такі РСШ називаються системами зі зворотним зв'язком, причому окремо розрізняють системи з керуючим зворотним зв'язком і системи з інформаційним зворотним зв'язком. У першому випадку вирішальна схема приймача виносить рішення про передане повідомлення і направляє його одержувачу або, якщо повідомлення здається сумнівним, приймає рішення повторити надсилання і інформує про це передавальну сторону. У другому випадку приймальна сторона сповіщає передавальну по зворотному каналу про те, яке повідомлення прийнято, а сторона, що передає, порівнюючи ці повідомлення, повторює передане при наявності істотних відмінностей [7].

Двосторонній радіозв'язок, при якому передача і прийом на кожній радіостанції здійснюється по чергово, називається симплексним, якщо передача і прийом на кожній радіостанції ведеться одночасно, то такий зв'язок - двосторонній. Більшість сучасних систем є системами множинного доступу. Це означає, що по одній лінії можна здійснювати одночасну передачу кількох повідомлень. В цьому випадку формується груповий сигнал  $S_{гр}$ , що є функцією різних джерел повідомлень  $x_i(t)$  (1.5)

$$S_{гр} = S\{S_1(t), S_2(t), \dots, S_i(t)\}. \quad (1.5)$$

Системи множинного доступу, в свою чергу, поділяють на багатоканальні і багатостанційні. У багатоканальних системах (рис. 1.2) повідомлення  $x_1(t), x_2(t), \dots, x_i(t)$ , що надходять від різних джерел на каналні модулятори  $КМ_i$ , модулюють каналні сигнали, які йдуть з генератора каналних сигналів (ГКС). Модульовані каналні сигнали надходять на пристрій об'єднання (ПО), де виробляється груповий сигнал  $S_{гр}(t)$ . В загальному модуляторі (ЗМ)

здійснюється модуляція несучої частоти передавача. У приймальній частині системи зв'язку після попередньої обробки (підсилення, фільтрації і т.д.) відбувається демодуляція прийнятого сигналу і виділення оцінки групового сигналу  $S'_{гр}(t)$  в загальному демодуляторі (ЗД). Селекторами каналних сигналів (СКС) виділяються оцінки каналних сигналів  $S'_i(t)$ , а формування оцінок прийнятих повідомлень  $x'_i(t)$  відбувається в каналних детекторах (КД<sub>i</sub>). Сучасні системи повинні забезпечувати одночасним зв'язком велику кількість стаціонарних і рухомих об'єктів, довільно розташованих на земній поверхні. Такі системи називаються багатостанційними або системами з багатостанційним доступом (БД) [8]. Багатостанційний доступ здійснюється в загальний частотний канал, а кореспонденти (споживачі) передають і приймають інформацію незалежно один від одного, коли в цьому виникає необхідність. Такий принцип в даний час реалізується і в наземних, і в супутникових системах.

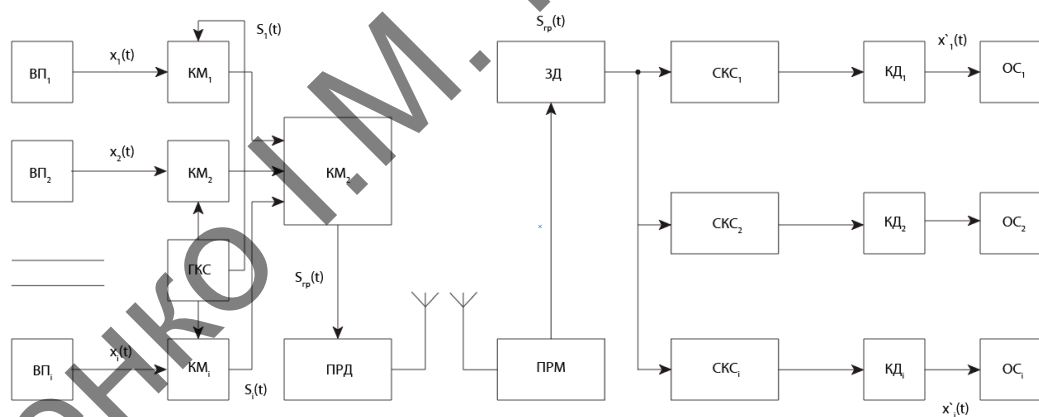


Рисунок 1.2 – Система з багатостанційним доступом

На відміну від багатоканальних систем передачі інформації, в яких груповий сигнал формується "всередині", тобто спеціальними пристроями об'єднання, перед модуляцією несучої в передавальному тракті, в системах БД груповий сигнал  $S_{гр}(t)$  утворюється безпосередньо в каналі поширення (рис. 1.3), тобто на вході приймальних пристроїв [9]. Крім того, в системах з БД відсутня часова синхронізація джерел інформації, а рівні сигналів можуть



мати відчутні відмінності, наприклад, в залежності від віддаленості (різної протяжності трас поширення).

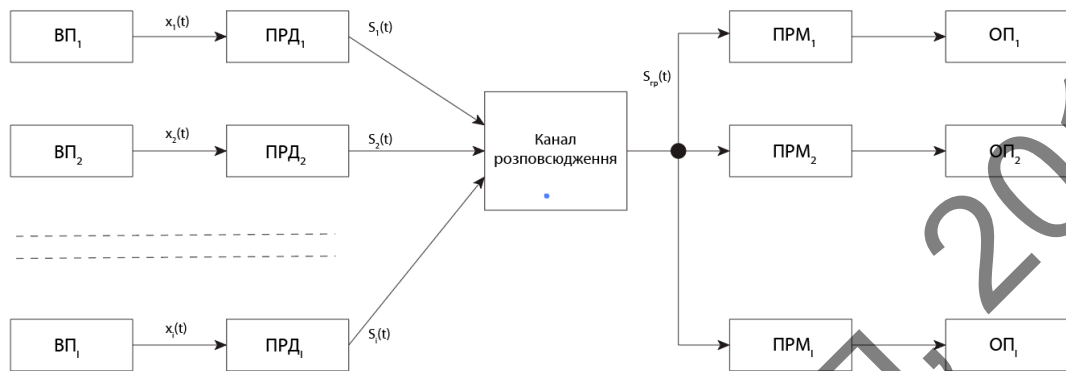


Рисунок 1.3 – БД система

При реалізації методів множинного доступу має бути виключено взаємний вплив сигналів різних джерел. Крім того, необхідною умовою є умова їх роздільності при обробці. У багатоканальних системах для ефективного розподілу каналних сигналів достатнім є умова їх лінійної незалежності. При лінійному розподілі каналів груповий сигнал  $S_{гр}(t)$  є сумою модульованих каналних сигналів  $S_{гр}(t) = S(t)$ ,  $S_{гр}(t) = \sum_{i=1}^N S_i(t)$ , а роботу селектора каналних сигналів описують лінійними операторами (1.6)

$$L_j = [S_{гр}(t)] = L_j \left[ \sum_{i=1}^N S_i(t) \right] = \left[ \sum_{i=1}^N L_j S_i(t) \right] = \begin{cases} S_i(t), & i = j, \\ 0, & i \neq j. \end{cases} \quad (1.6)$$

Ще однією особливістю РСП є те, що деякі з них можуть бути багатостовбурними [10]. У широкому сенсі розуміння, будь-яка система зв'язку разом із середовищем поширення утворює лінійний тракт або стовбур, що складається з кінцевого обладнання та радіостовбура. Устаткування стовбура розташоване на кінцевих і ретрансляційних станціях. Призначенням радіостовбура є передача модульованих радіосигналів за допомогою радіохвиль. Якщо до складу радіостовбура входить лише дві кінцеві радіостанції та один тракт розповсюдження, то такий стовбур називають простим. Якщо крім цих двох радіостанцій стовбур містить одну або кілька ретрансляційних станцій, то його називають складним [11].

У вузькому розумінні поняття стовбура пов'язують з трактом прийому-передачі одного або декількох радіосигналів, який є частиною загального приймально-передавального тракту і містить загальний для цих сигналів тракт підсилення (вихідний підсилювач). Багатостовбурний принцип побудови обладнання широко використовують в радіорелейних ретрансляторах і супутникових системах зв'язку, де для кожного стовбура відводять свій частотний діапазон [12]. Так, наприклад, для бортових ретрансляторів (БРТ) супутникових систем зв'язку в залежності від обсягів переданої інформації відводяться смуги частот 20, 40, 120 МГц, а число стовбурів в деяких БРТ може досягати двох і більше десятків. На рис. 1.4, як приклад, зображена спрощена структурна схема одного стовбура БРТ супутникової системи зв'язку, де МШП - малoshумний підсилювач; СП - смуговий підсилювач; ОБМ - обмежувач; ПП - підсилювач потужності.

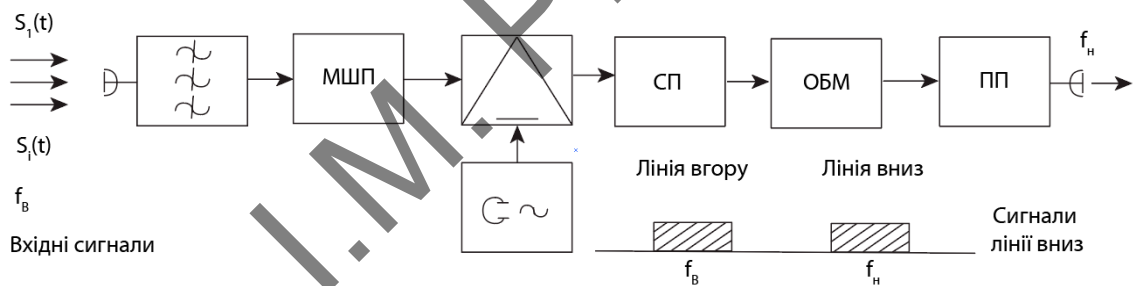


Рисунок 1.4 – Спрощена схема одного стовбура БРТ супутникової системи зв'язку

Слід зазначити, що всі РСПІ можна розділити на аналогові і цифрові. Останнім часом цифрові методи передачі інформації набувають все більшого поширення в порівнянні з аналоговими. До переваг цифрових систем відносять перш за все такі:

- простоту і ефективність групування в пакети кількох незалежних сигналів;
- відносно малу чутливість до ефекту накопичення;
- спотворення при ретрансляції, що є великою проблемою в аналогових системах зв'язку;

- малі ймовірності помилок при передачі і прийомі інформаційних сигналів (малі помилки кодування і декодування);
- скритність і високу завадозахищеність і / або стійкість;
- гнучкість апаратурною реалізації і високий ступінь уніфікації цифрових систем.

Разом з тим, вхідні повідомлення, що надходять на станції, можуть бути як цифровими, так і аналоговими, наприклад, мовні сигнали персональних абонентів або мовлення. Це вимагає, з одного боку, перетворення аналогових сигналів в цифрові, а з іншого - застосування відповідних методів і пристроїв ущільнення і захисту інформації.

## 1.2 Види радіозв'язку та класифікація систем зв'язку

Мережу зв'язку з геометричної точки зору можна інтерпретувати у виді графа, що складається з вузлів (вузлів комутації) і ребер (ліній і пристроїв зв'язку) [13]. Такий підхід полегшує систематизацію й аналіз мереж зв'язку різного виду. При побудові мережі виникає питання про вибір структури з'єднання споживачів. Нижче розглянуті основні типи мереж, що використовуються в залежності від інтенсивності обміну, територіального розташування абонентів і ряду інших розумінь (рис.1.2).

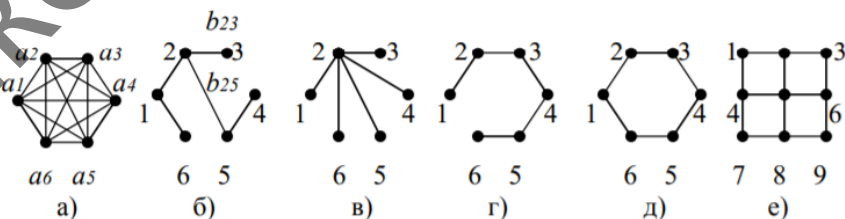


Рис. 1.5 – Основні типи мереж

У повнозв'язній мережі (рис. 1.5, а) має місце з'єднання кожного вузла з кожним, що забезпечує, велику маневреність за рахунок дорожнечі. При  $Y$  вузлах число ребер  $R_p = 0,5Y(Y - 1)$ . Неважко переконатися, що при вилученні  $Y - 2$  ребер зв'язність мережі (можливість з'єднання будь-якої пари абонентів) не порушується. У деревоподібній мережі (рис. 1.5, б) ніяка пара вузлів не

з'єднана більш, ніж з одним ребром, а частина вузлів не має прямих з'єднань один з одним. Число ребер у такій мережі  $R_p = Y - 1$ . Її різновидами є вузлова і лінійна мережі (рис. 1.5, в, г). У матричній мережі кожен вузол з'єднаний ребрами з частиною вузлів [14]. Тут можлива велика розмаїтість варіантів, серед яких виділяють кільцеву мережу (рис. 1.5, д) і регулярні мережі. Останні, у свою чергу, можуть мати різноманітні структури, наприклад, матричну (рис. 1.5, е), стільникову й інші в залежності від числа ребер, що сходяться у вузлах. Числа ребер, що сходяться у вузлах,  $R_i$ , названі рангами вузлів, на межі мережі будуть різними для граничних і внутрішніх вузлів. Для регулярної мережі

$$R_p = \frac{1}{2} \sum_{r_i=1}^{N-1} Y_i, \quad (1.7)$$

де  $Y_i$  – число вузлів рангу  $R_i$ .

Для кількісного опису мережі використовується апарат теорії графів. Взаємозв'язок вузлів і ребер описується матрицею зв'язності  $A$ , елементи якої  $a_{ij}$  визначаються таким способом:  $a_{ij} = 1$ , якщо між вузлами  $a_i$  і  $a_j$  є ребро,  $a_{ij} = 0$ , якщо між вузлами  $a_i$  і  $a_j$  немає ребра. Упорядкований каскадний набір ребер  $\mu_{ij}$ , що з'єднують вузли  $a_i$  і  $a_j$ , не проходячи двічі через той самий вузол, називають шляхом чи маршрутом з вузла  $a_i$  у вузол  $a_j$ . Якщо шлях починається і закінчується в тому самому вузлі (не проходячи двічі через який-небудь вузол), то він є контуром. Так, деревоподібна мережа контурів не містить, а кільцева мережа – є контуром [15]. Якщо ребрам привласнюються позитивні (чи негативні) напрямки, то шлях називають спрямованим.

Число ребер  $R$ , що входять у шлях  $\mu_{ij}$ , називають рангом шляху. Неважко довести, що  $1 < R < Y - 1$ . Шлях між вузлами  $a_i$  і  $a_j$  за обраним шляхом  $\mu_{ij}$  називають відстанню  $l$ . Між двома заданими вузлами  $a_i$  і  $a_j$  існує, у залежності від типу мережі, кілька різних шляхів  $\mu_{ij}^k$ .

Кожен  $k$ -й шлях  $\mu_{ij}^k$  від  $a_i$  до  $a_j$  можна записати упорядкованим переліком вузлів чи дуг. Так, на рис.1.2,б шлях між  $a_1$  і  $a_4$  можна записати у вигляді

$$\mu_{14} = a_1 a_2 a_5 a_4 = b_{12} b_{25} b_{54}. \quad (1.8)$$

Для практичного застосування важливо відшукати шляхи, що мають мінімальний ранг  $R$ , відстань  $l$  і інші техніко-економічні показники [16]. Рішення цих задач можливо методами лінійного програмування.

### 1.3 Багатостанційний доступ з частотним розділенням каналів

При БДЧР кожен сигнал наземної станції має певну ділянку загального групового НВЧ діапазону частот. Сигнали різних наземних станцій (ЗС) відрізняються несучими частотами і мають спектри, які не накладаються, причому в залежності від виду переданої інформації і виду модуляції вони можуть мати різні смуги частот [17]. Модуляція несучої зазвичай здійснюється або за частотою, або по фазі. Основне правило при виборі модуляції - забезпечення сталості обвідної модульованого сигналу (рис. 1.6). При БДЧР всі сигнали ЗС передаються одночасно, а груповий сигнал стовбура станції прийому, наприклад, БРТ супутникової системи може бути утворений в межах смуги стовбура  $\Delta f_p$  в діапазоні НВЧ. Значення несучих частот і девіації частот сигналів ЗС вибирають таким чином, щоб між спектрами несучих залишались захисні інтервали  $\Delta f_3$  для зменшення взаємного впливу сигналів один на одного (тобто зменшення взаємних перешкод).



Рисунок 1.6 – Принцип БДЧР

До переваг БДЧР можна віднести простоту реалізації і можливість сумісності з іншими системами передачі інформації, відсутність необхідності синхронізації роботи ЗС, меншу потужність передавачів ЗС порівняно з іншими видами багатостанційного доступу [18].

Недоліками БДЧР [19] є нерациональне використання частотного діапазону при малій активності споживачів, труднощі забезпечити роботу близько розташованих ЗС без значних міжстанційних перешкод навіть при наявності захисних інтервалів, взаємне придушення сигналів БДЧР і виникнення нелінійних перешкод, обумовлених нелінійністю амплітудної характеристики ретранслятора і наявністю АМ-ФМ перетворення сигналів.

Розглянемо останнє докладніше. Узагальнену модель ретранслятора можна представити у вигляді безинерційної амплітудної нелінійності і послідовно включених на її вході і виході смугових фільтрів (рис. 1.7). На вхід вхідного смугового фільтра подається груповий сигнал  $U_{\Sigma}(t)$ , а на вхід безинерційної нелінійності  $F(U)$  надходить уже вузькосмуговий сигнал

$$U(t) = A(t) \cos(\omega t + \varphi(t)) = A(t) \cos \Theta(t). \quad (1.9)$$

Таке уявлення відповідає як одному сигналу, так і сумі кількох сигналів на вході.

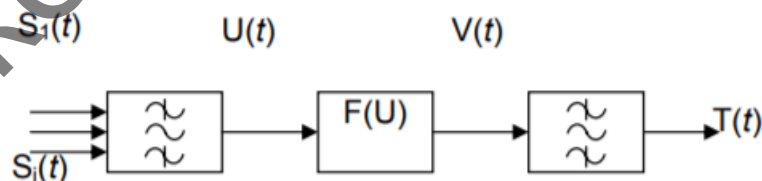


Рисунок 1.7 — Узагальнена модель ретранслятора

Сигнал на виході нелінійного елемента можна записати у вигляді

$$V(t) = F(U(t)) = F(A(t) \cos \Theta(t)) \quad (1.10)$$

або в силу його періодичності він може бути представлений у вигляді ряду Фур'є

$$V = g_0 + \sum_{-\infty}^{\infty} g_k \cos(k\Theta). \quad (1.11)$$

Зрозуміло, що після фільтрації сигнал на виході ретранслятора має вигляд

$$T(t) = g \cdot \cos \Theta = g \cdot \cos[\omega t + \varphi], \quad (1.12)$$

де  $g = g_1(A)$  - коефіцієнт ряду Фур'є при першій гармоніці функції  $F(A \cos \Theta)$

$$g = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} F(A \cos \Theta) \cos \Theta d\Theta. \quad (1.13)$$

Припустимо, що на вхід нелінійності надходить сигнал, що складається з суми сильної і слабкої сигналів,  $U(t) = A \cos \alpha + B \cos \beta$ , тобто  $A \gg B$ . Після перетворень отримуємо

$$\begin{aligned} T(t) = & g(A) \cos \alpha + \frac{1}{2} \left[ B \cdot g'(A) + \frac{B}{A} g(A) \right] \cos \beta + \\ & + \frac{1}{2} \left[ B \cdot g'(A) - \frac{B}{A} g(A) \right] \cos(2\alpha - \beta) + \frac{B^2 \cdot g'(A)}{4A} \cos(2\beta - \alpha) - \\ & - \frac{B^2 \cdot g'(A)}{4A} \cos(3\alpha - 2\beta). \end{aligned} \quad (1.14)$$

Із виразом (1.14) слідує, що в спектрі вихідного сигналу присутні не тільки компоненти частот  $\alpha$  і  $\beta$ , але і продукти нелінійного перетворення з частотами  $2\alpha - \beta$ ,  $2\beta - \alpha$ ,  $3\alpha - 2\beta$  (рис. 1.8). Сума коефіцієнтів при частотах  $\alpha$  і  $\beta$  визначає порядок нелінійного продукту [20], тобто мабуть, перший спектр сигналу на виході нелінійності міститься в продуктах третього і п'ятого порядку. І, зрозуміло, що збільшується кількість сигналів, що з'являються на виході нелінійного елементу, наприклад, з характеристикою, зображеною на рис. 1.9, порядок продукту нелінійності підвищується.



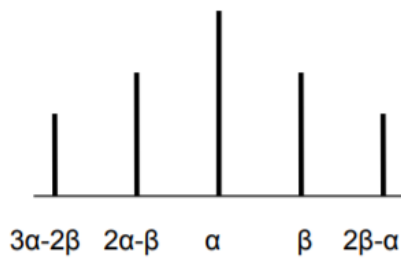


Рисунок 1.8

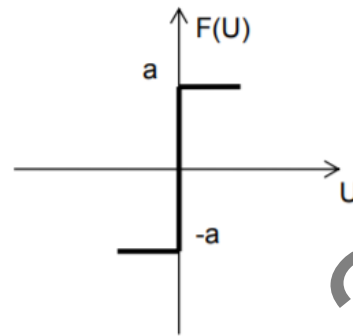


Рисунок 1.9

Таким чином, при МДЧР енергетика системи використовується не повністю. Разом з тим деякі недоліки МДЧР можна частково усунути, здійснивши центральну станцію (ЦС) і надавши доступ до системи за необхідності, що також призведе до збільшення кількості обслуговуваних абонентів [21]. Крім того, ЦС може регулювати потужність передавачів ЗС для вирівнювання сигналів на входах приймачів, тим самим знижуючи рівень міжстанційних перешкод.

#### 1.4 Багатостанційний доступ із часовим розділенням каналів

Суть БДЗЧР полягає в тому, що кожній наземній станції для випромінювання сигналів виділено свій періодично повторюваний інтервал часу, тривалість якого визначено трафіком станції. Інтервали часу, виділені станціям, не перекриваються і при цьому випромінювання ЗС взаємно синхронізовані в часі, щоб сигнали перекривалися [22]. Схема конфігурації мережі зв'язку з БДЗЧР показана на рис. 1.10. Тут інтервал часу  $T$ , протягом якого всі станції мережі по одному разу випромінюють сигнал, утворює кадр, а інтервал часу випромінювання кожної ЗС (тривалість пакета імпульсів) є субкадром. Структура кадру зображена на рис. 1.11.



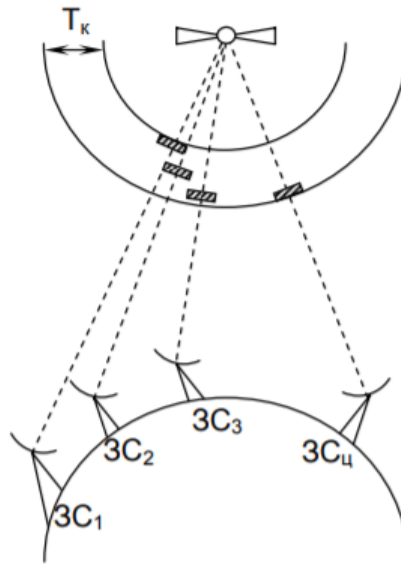


Рисунок 1.10 — Конфігурація мережі БДЗЧР

Кожен кадр БДЗЧР містить сигнал загальної синхронізації, переданий центральною станцією (в нашому випадку ЗСЦ), який використовується усіма іншими ЗС [23].

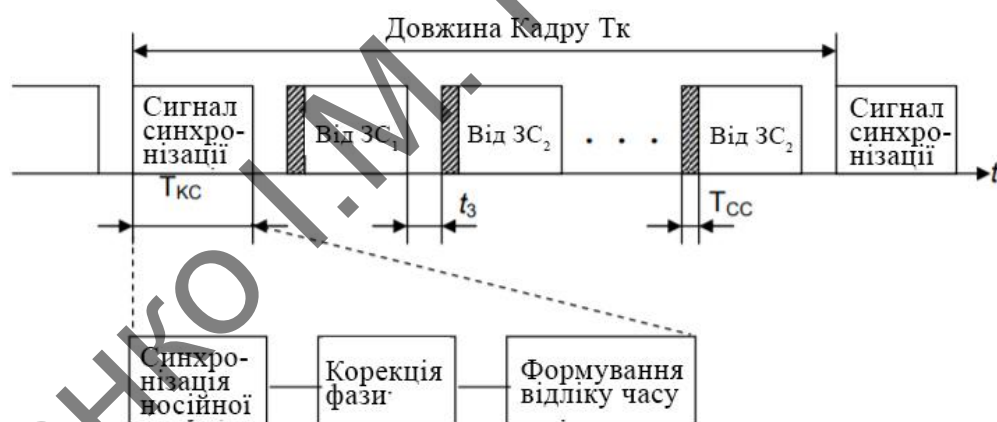


Рисунок 1.11 — Структура кадру

Субкадр, в свою чергу, складається з преамбули та ряду інформаційних пакетів, призначених різним станціям мережі. Преамбула включає в себе захисний часовий інтервал  $t_3$ , сигнал відновлення несучої для синхронізації демодулятора і сигнал початку інформаційного пакета, що складає його межі. У преамбулі може міститися і інша службова інформація [24].

Ефективність системи зв'язку з БДЗЧР залежить від того, яка частка часу кадру (циклу) відводиться на передачу всілякої службової інформації і ор-

ганізації захисних часових інтервалів. Кількісно ефективність може бути оцінена наступним співвідношенням:

$$\eta = 1 - \frac{T_{\text{КС}} + (n-1)t_3 + nT_{\text{СС}}}{T}, \quad (1.15)$$

де  $T_{\text{КС}}$ ,  $T_{\text{СС}}$  - тривалості сигналів кадрової і субкадрової синхронізації відповідно;  $t_3$  - тривалість захисного інтервалу;  $n$  - число каналів системи.

З виразу (1.15) випливає, що для підвищення ефективності необхідно збільшувати тривалість кадру [25], зменшувати довжину і число захисних інтервалів, підвищувати точність синхронізації. Доречно, однак, нагадати, що тривалість кадрів залежить від виду переданої інформації і, наприклад, для передачі мовного зв'язку на підставі теореми Котельникова тривалість кадру визначається максимальною частотою сигналу, що передається. В цьому випадку для збільшення ТК необхідно вводити буферну пам'ять, в результаті чого зростає затримка переданої інформації [26].

Найбільша проблема при проектуванні БДЗЧР пов'язана з необхідністю забезпечення жорсткої синхронізації, яка виключає взаємний вплив сигналів ЗС на вході ретранслятора і забезпечує входження ЗС в функціонуючу систему. Зазвичай розрізняють синхронізацію на прийом і на передачу. У першому випадку визначаються часові інтервали, відповідні субкадрам. У другому - отримується сигнал, що випромінюється ЗС в рамках виділеного для цієї станції субкадра [27]. Синхронізацію на прийом здійснюють детектуванням синхросигналу опорної станції, а синхронізацію на передачу виконують периферійні станції шляхом зміни фази власних сигналів в кадрі в порівнянні з фазою синхросигналів опорної станції. У більшості випадків сигнал синхронізації формується у вигляді окремого спеціалізованого пакета - сигналу виділеної синхронізації. При цьому синхросигнали всіх ЗС передаються в кадрі на фіксованих часових позиціях окремо від інформаційних, що трохи знижує ефективність системи, так як при цьому виникає необхідність пере-

дачі синхросигналів і преамбули демодулятора як в складі синхропакета, так і в складі пакету інформації.

### 1.5 Багатостанційний доступ з кодовим розділенням каналів

На відміну від багатостанційного доступу з частотним розділенням (БДЧР) і багатостанційним доступом з часовим розділенням (БДЗЧР) при багатостанційному доступі з кодовим розділенням (БДКР), коли сигнали різних наземних станцій (ЗС) посилюються одночасно, але в різних частотних інтервалах (на різних частотах) або на одній частоті, але в різні проміжки часу, посилення сигналу в бортових ретрансляторах супутникової системи зв'язку (ССЗ) відбувається одночасно в одному і тому ж частотному інтервалі. Це можливо завдяки тому, що кожна передаюча ЗС має свій код, що дозволяє відрізнити сигнали один від одного [28].

Ефективне розрізнення сигналів по формі, як правило, пов'язане з використанням широкобазових сигналів, тобто таких сигналів, у яких база - добуток ширини смуги з  $\Delta f$  на його тривалість  $T_c$ , багато більше одиниці, тобто  $B = \Delta f_c T_c \gg 1$  (зауважимо, що у звичайних сигналів  $B \approx 1$ ). Такими базами володіють широкосмугові (складові) сигнали і, зокрема, шумоподібні сигнали (ШПС), які в основному і застосовуються в БДКР. Сигнали різних ЗС, завдяки хорошим кореляційним властивостям ШПС, розрізняють методами кореляційного прийому [29].

Основними перевагами БДКР є:

- низька спектральна щільність випромінюваних сигналів;
- висока стійкість (особливо по відношенню до вузькосмугових і імпульсних завад);
- прихованість прийому-передачі повідомлень завдяки використанню таких кодів.

Разом з тим БДКР має і ряд недоліків. Один з них - низька в порівнянні з іншими видами доступу, ефективність використання смуги частот, оскільки

застосування ШПС призводить до істотного розширення смуги частот у порівнянні зі смугою модулюючого сигналу. Це зумовлює низьку пропускну здатність в цілому, і в БДКР зазвичай передають інформаційні потоки зі швидкістю не вище ніж 9,6 ... 19,2 кбіт / с.

Другим істотним недоліком БДКР є високий рівень взаємних перешкод, що обмежує число одночасно працюючих абонентів. Дійсно, якість інформації, що передається (якість поділу символів різних ЗС) визначається так званими шумами ортогональності, які зростають у міру збільшення числа абонентів. Якщо в системах БДЧР і БДЗЧР основними шумами є теплові шуми, то при БДКР основні джерела шумів - випромінювання різних ЗС, одночасно працюючих в одному і тому ж частотному діапазоні, тобто кожен іншу ЗС можна розглядати як джерело перешкод для інших ЗС. Якщо абоненти рівноправні, якість зв'язку може бути покращено не за рахунок підвищення потужності ШПС, а тільки за рахунок збільшення бази сигналу  $B$ , що в свою чергу призводить до ускладнення обробки сигналів на приймальній стороні.

Якщо число ШПС в системі позначити через  $N$ , енергію ШПС -  $E_c$ , то достовірність прийому інформації при ідеальній обробці буде визначена як:

$$g^2 = \frac{E_c}{P_{\text{ш}}}, \quad (1.16)$$

де  $P_{\text{ш}}$  - спектральна потужність флуктуаційної завади, яка з урахуванням впливу  $N$  станцій матиме вигляд

$$P_{\text{ш}} = P_i \cdot (N - 1). \quad (1.17)$$

З огляду на те, що  $E_{ci} = B_i \cdot P_i$ , запишемо такий вираз ефективності:

$$g^2 = \frac{B_i}{(N - 1)}. \quad (1.18)$$

Як видно з виразу (1.18), кількість абонентів в системі з БДКР не може бути дуже великою, оскільки їх збільшення призводить до необхідності суттєвого збільшення бази ШПС [30]. Реально ця кількість не перевищує кілька десятків. На рис. 1.12 зображені порівняльні характеристики пропускну здатності трьох методів доступу - БДЧР, БДЗЧР і БДКР в залежності від

кількості земних станцій  $N$ ,  $i$ , як видно з цього рисунка, відносна величина пропускної спроможності, найбільш висока в системах БДЗЧР і найнижча в системах БДКР. Незважаючи на зазначені недоліки, системи з БДКР в останні роки знаходять все більше застосування, особливо в локальних мережах, системах стільникового і супутникового зв'язку. Це пов'язано, як вже було зазначено, що зі зменшенням пікової потужності, так і з низькими вимогами до динаміки регулювання потужності, що дуже важливо для персонального рухомого радіозв'язку [31].

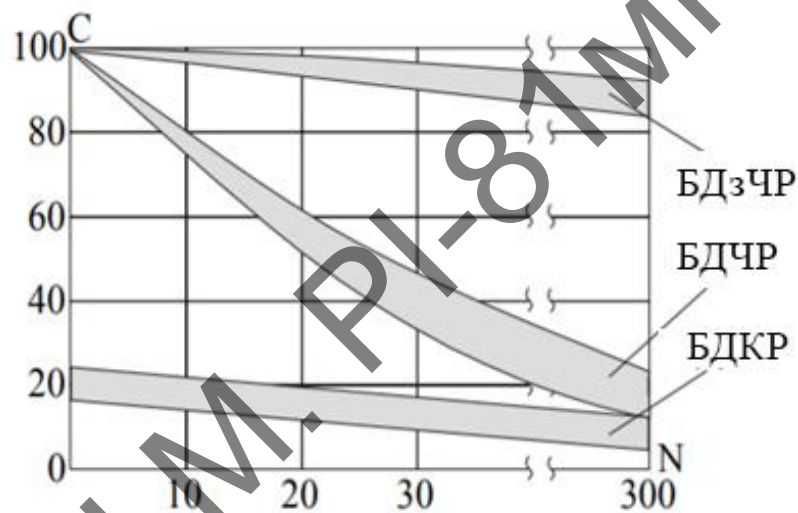


Рис. 1.12 – Порівняльні характеристики пропускної спроможності трьох методів доступу

Системам БДКР притаманний режим "м'якого" перемикавання при переході абонента з одного супутника на інший, легше здійснюється рознесений прийом через різні космічні антени (КА) з автовибором кращого з прийнятих сигналів.

## 1.6 OFDM модуляція

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) модуляція (мультиплексування з ортогональним частотним розділенням [32]) передбачає використання ряду ортогональних піднесучих  $U_{ni}(t)$ , модуляція яких здійснюється комплексними інформаційними символами  $U_i$ . Ортогональність забезпечу-

ється на певному інтервалі часу  $T_c$ , так званому корисному, і визначається умовою:

$$\int_0^{T_c} U_{HI}(t) \times U_{HI}(t) dt = \begin{cases} \neq 0, l = m; \\ = 0, l \neq m. \end{cases}$$

Незважаючи на те, що метод дослівно розшифровується як мультиплексування з ортогональним частотним розділенням, його все-таки в першу чергу відносять до методів цифрової модуляції. Справа в тому, що метод OFDM використовує одночасно і модуляцію і мультиплексування, але мультиплексування особливе. Звичайне мультиплексування це об'єднання різних сигналів від різних джерел, тут же відбувається об'єднання складових частин одного і того ж сигналу [33].

Комплексний інформаційний модулюючий символ має вигляд:

$$\dot{U}_l = U_{Ml} e^{j\varphi_l}, \quad (1.20)$$

де  $U_{Ml}$  - амплітуда символу;  $\varphi_l$  - фаза символу;  $l = 0, 1, 2, 3 \dots$

Завдання, яке вирішується OFDM, зводиться до отримання на інтервалі часу  $T_c$  безперервного сигналу, що складається з  $N$  підносійних  $U_{ni}(t) = \cos(2\pi f_i t)$ , модульованих символами:

$$U_c(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} U_{Mi} \cos(2\pi f_i t + \varphi) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \text{Re}(\dot{U}_i \cdot e^{j2\pi f_i t}), \quad (1.20)$$

де  $f_i$  - частота  $i$ -ої підносійної.

Для забезпечення ортогональності модульованих підносійних, досить виконання умови:

$$f_{i+1} - f_i = \Delta f = \frac{1}{T_c}, \quad (1.21)$$

де  $\Delta f$  - рознос між сусідніми підносійними.

Проведемо перетворення виразу (1.21), перейшовши від безперервного часу до дискретного

$$t = k\Delta t, \quad (1.22)$$

де  $k = 0, 1, 2, 3 \dots (N-1)$ .

Період дискретизації  $\Delta t$  OFDM сигналу виберемо з умови:

$$(1.23)$$

$$\Delta t = \frac{T_c}{N}.$$

В результаті, з урахуванням виразів (1.22) і (1.23), отримаємо:

$$U_{ck} = U_c(k\Delta t) = \frac{1}{N} \operatorname{Re} \sum_{i=0}^{N-1} \dot{U}_j e^{j2\pi k \frac{\Delta f}{T_c}} = \frac{1}{N} \operatorname{Re} \sum_{i=0}^{N-1} \dot{U}_j e^{jik \frac{2\pi}{N}}, \quad (1.24)$$

де  $U_{ck}$  - значення сигналу в момент часу  $k\Delta t$ .

Таким чином, після ряду перетворень ми перейшли від безперервної форми опису OFDM сигналу (1.20) до дискретної, причому отриманий вираз являє собою не що інше, як дійсну частину зворотного дискретного перетворення Фур'є (ЗДПФ) [34]. Операція перетворення в OFDM модуляторах здійснюється в комплексній формі, тому вираз (1.24) представимо у вигляді:

$$\dot{U}_{ck} = \dot{U}_c(k\Delta t) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \dot{U}_j e^{jik \frac{2\pi}{N}}. \quad (1.25)$$

Розкриємо цей вислів, попередньо опустивши коефіцієнт  $1/N$ . В результаті отримаємо систему з  $N$  рівнянь, кожне з яких з точністю до постійного коефіцієнта визначає значення сигналу в момент часу  $k\Delta t$ .

$$\begin{aligned} \dot{U}_c(0) &= \dot{U}_0 + \dot{U}_1 + \dots + \dot{U}_i + \dots + \dot{U}_{N-1} \quad (1.26) \\ \dot{U}_c(\Delta t) &= \dot{U}_0 + \dot{U}_1 e^{j\frac{2\pi}{N}} + \dots + \dot{U}_i e^{j\frac{2\pi i}{N}} + \dots + \dot{U}_{N-1} e^{j\frac{2\pi(N-1)}{N}} \\ \dot{U}_c(k\Delta t) &= \dot{U}_0 + \dot{U}_1 e^{jk\frac{2\pi}{N}} + \dots + \dot{U}_i e^{jk\frac{2\pi i}{N}} + \dots + \dot{U}_{N-1} e^{jk\frac{2\pi(N-1)}{N}} \\ \dot{U}_c((N-1)\Delta t) &= \dot{U}_0 + \dot{U}_1 e^{j(N-1)\frac{2\pi}{N}} + \dots + \dot{U}_i e^{j(N-1)\frac{2\pi i}{N}} + \dots + \dot{U}_{N-1} e^{j(N-1)\frac{2\pi(N-1)}{N}} \end{aligned}$$

Дана система відображає процес модуляції підносійних інформаційними символами  $U_i$ . При цьому слід виділити три моменти:

- кожен символ модулює тільки одну підносійну;
- у формуванні кожного відліку беруть участь всі символи;
- процеси формування підносійних і їх модуляції в рамках ЗДПФ суміщені.

У загальному випадку з  $N$  підносійних можуть бути використані не всі, що адекватно присвоєні в системі рівнянь (1.26) ряду символів нульових значень. Зокрема, Європейським стандартом наземного цифрового телевізійного

мовлення DVB-T передбачено використання  $K$  з  $N$  підносійних. В системі рівнянь (1.26) цьому відповідає рівність нулю значень символів з номерами  $K-1 < i < N$ , що рівносильно пропорційному зменшенню ширини спектра сигналу.

У формований OFDM сигнал для боротьби з міжсимвольними спотвореннями додатково вводять захисний інтервал тривалістю  $t_3$ . Процедура введення може бути зведена до вставки останніх  $N \times t_3 / T_c$  відліків, отриманих в результаті ОДПФ [35], перед корисною частиною сигналу. Таким чином, загальна тривалість сигналу виявляється рівною  $T_c + t_3$ .

Відображенням цієї процедури є відповідне доповнення системи рівнянь (1.26) останніми  $N \times t_3 / T_c$  рівняннями тієї ж системи. В силу ортогональності підносійн прийнятий порядок формування і вставки захисного інтервалу не призводить до стрибка їх фаз.

Розглянемо процес демодуляції OFDM сигналу. При цьому будемо вважати, що в приймальному пристрої на основі прийнятого сигналу сформовані часові відліки. Застосуємо до них пряме дискретне перетворення Фур'є:

$$\dot{U}_i = \sum_{k=0}^{N-1} \dot{U}_c(k\Delta t) e^{-jk\frac{2\pi i}{N}}. \quad (1.27)$$

Як і раніше розкриємо цей вислів. В результаті отримаємо систему з  $N$  рівнянь, кожне з яких визначає значення комплексного інформаційного символу  $U_i$ :

$$\begin{aligned} \dot{U}_0 &= \dot{U}_c(0) + \dot{U}_c(\Delta t) + \dots + \dot{U}_c(k\Delta t) + \dots + \dot{U}_c((N-1)\Delta t) \\ \dot{U}_1 &= \dot{U}_c(0) + \dot{U}_c(\Delta t)e^{-j\frac{2\pi}{N}} + \dots + \dot{U}_c(k\Delta t)e^{-j\frac{2\pi k}{N}} + \dots + \dot{U}_c((N-1)\Delta t)e^{-j\frac{2\pi(N-1)}{N}} \\ \dot{U}_i &= \dot{U}_c(0) + \dot{U}_c(\Delta t)e^{-j\frac{2\pi i}{N}} + \dots + \dot{U}_c(k\Delta t)e^{-j\frac{2\pi ik}{N}} + \dots + \dot{U}_c((N-1)\Delta t)e^{-j\frac{2\pi i(N-1)}{N}} \\ \dot{U}_{N-1} &= \dot{U}_c(0) + \dot{U}_c(\Delta t)e^{-j(N-1)\frac{2\pi}{N}} + \dots + \dot{U}_c(k\Delta t)e^{-j(N-1)\frac{2\pi k}{N}} + \dots + \dot{U}_c((N-1)\Delta t)e^{-j(N-1)\frac{2\pi(N-1)}{N}} \end{aligned} \quad (1.28)$$

Аналіз системи рівнянь показує, що по суті виділення кожного символу  $U_i$  реалізується шляхом інтегрування на інтервалі часу  $T_c$  помноженому на комплексне значення OFDM сигналу на певну комплексну експоненту  $i$ , як



пояснює вираз (1.28), стає можливим завдяки ортогональності системи, що включає комплексні експоненти і функції, що описують підносійні.

OFDM сигнал формується таким чином. Деяка високошвидкісна послідовність імпульсів спочатку ділиться на безліч паралельних цифрових потоків з імпульсами більшої тривалості.

Кожна новостворена послідовність імпульсів модулюється по амплітуді і по фазі QAM корисним сигналом [36], що несе інформацію про передані дані. Отримана безліч модульованих послідовностей імпульсів за допомогою частотного мультиплексора об'єднується в сукупність розділених по частоті ортогональних каналів (підносійних), утворюючи єдиний широкосмуговий сигнал. Для організації радіоканалу сигнал з безліч підносійних перетворюється за допомогою Digital Analog Converter (DAC) в високочастотний аналоговий радіо сигнал і передається по бездротовому каналу зв'язку.

У чому ж полягає особливість OFDM, що зумовило його популярність у всіх сучасних системах зв'язку?

Переваги (добротні родзинки) OFDM:

- здатність протистояти складним умовам в радіоканалі, в першу чергу усувати міжсимвольну інтерференцію і боротися з вузькосмуговими перешкодами;
- висока спектральна ефективність. Якщо число підносійних наближається до нескінченності, OFDM системи показують майже подвоєну спектральну ефективність в порівнянні з традиційними системами з частотним розділенням каналів.
- адаптивність методу - можливість використання різних схем модуляції для різних підносійних, що дозволяє адаптуватися до умов поширення сигналу і до різних вимог до якості сигналу;
- проста реалізація методами цифрової обробки (стала простою з розвитком потужності обчислювальних пристроїв);

- здатність протистояти інтерференції між підносійними, що зумовлює добрі показники при багатопробеному поширенні.

Недоліки OFDM:

- потрібна високоточна синхронізація за часом і по частоті;
- OFDM сигнал має відносно високе значення пік-фактора, що призводить до надмірних енергетичних витрат;
- використання захисних інтервалів знижує спектральну ефективність методу;
- метод чутливий до ефекту Доплера, що накладає додаткові труднощі при його застосуванні в мобільних мережах.

## 1.7 Порівняння мереж 4G та 5G

Одне з пріоритетних умов можливості розвитку п'ятого покоління стільникового зв'язку (5G) - це наявність вільного частотного ресурсу [37]. Такі спостерігаються в даний час тенденції як лавиноподібне зростання споживаного трафіку і розвиток Інтернету речей (*Internet of Things, IoT*) накладають на мережі операторів серйозні вимоги в частині високошвидкісної передачі даних, низьких затримок, а також можливості підключення великої кількості пристроїв.

Порівняння характеристик мереж зображено в таблиці 1.1. Дані, що наведені не являються до кінця достовірними, адже тестування мережі ще проходить, але вже зараз є працюючі зразки, які мають значення приведені [24] в таблиці.

	Пікова пропускна здатність Гбіт/с		Щільність з'єднання пристрій/км <sup>2</sup>	Затримка мережі, мс	Спектральна ефективність, біт/Гц	
	Downlink	Uplink			Downlink	Uplink
<b>LTE</b>	3	1,5		5	15	6,75
<b>5G</b>	20	10	1 млн.	0,5-4	30	15

Проаналізувавши цю таблицю, ми бачимо, що мережі 5-го покоління в декілька разів кращі, ніж мережі 4-го покоління (більша пікова пропускна

здатність, менша затримка, більша спектральна ефективність). Тому ми акцентуємо увагу саме на них.

Шнуренко І.М. РІ-81МП, 2019

## 2 АНАЛІЗ ІНТЕГРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

В системі радіозв'язку з кодовим розділенням каналів існує досить багато інтегральних характеристик (похибка на біт інформації, пропускна здатність, рівень фазових шумів, міжсимвольна інтерференція, спектральна ефективність, та інші), які відображають залежність одних параметрів від інших. Саме деякі з них ми будемо розглядати та покращувати.

### 2.1 Похибка на біт інформації

BER (Bit Error Rate) - частота помилок по бітам (BER) характеризує кількість бітових помилок в одиницю часу. Коефіцієнт помилок по бітам (позначається також - BER) - це кількість бітових помилок, поділена на загальне число переданих бітів протягом досліджуваного періоду часу. Коефіцієнт помилок є безрозмірною величиною і часто виражається у відсотках [38].

Ймовірність бітової помилки - це очікуване значення коефіцієнта помилок по бітам. Таким чином, коефіцієнт помилок по бітам можна розглядати як наближене значення ймовірності бітової помилки. Точність цієї оцінки збільшується при збільшенні тривалості інтервалу часу і обсягу переданих даних.

Для розрахунку ймовірності похибки на біт інформації, зумовленої впливом взаємних перешкод у СРЗ з ШПС, розроблено багато методів. Їх можна умовно розділити на три групи: розрахунок границь, апроксимації та моделювання [39]. Граничні методи, як правило, характеризуються середньою та високою складністю розрахунків, але часто дають гірші результати, коли кількість перешкодових сигналів зростає. Проте, якщо границі можна зробити максимально щільними шляхом збільшення часу розрахунків, ці методи дають найточнішу оцінку з усіх відомих аналітичних підходів, а також вони можуть бути використані для оцінки точності різних апроксимацій. Аналітичні апроксимації, як правило, проводяться на основі граничних теорем з використанням складних розрахунків, проте розглянемо способи їх

спрощення при збереженні достатньої точності. Моделювання має перевагу, коли структура сигналів вимагає надмірно складних розрахунків при застосуванні аналітичних методів [40].

В системі зв'язку, в каналі передачі даних можливі шуми, завади, спотворення, проблеми синхронізації, а також від шумових завад, пов'язані з багатопроменевим прийомом відбитих сигналів, які проявляються у вигляді завмирань і т.д.

BER може бути поліпшений шляхом підняття рівня сигналу за рахунок збільшення потужності передавача або показників АФУ, зниженням швидкості передачі даних, вибором більш перешкодозахищеного виду модуляції або шляхом застосування більш перешкодозахищених протоколів кодування, використання надлишкового коду прямої корекції помилок.

### **2.1.1 Модель каналу радіоприйому систем радіозв'язку з шумоподібними сигналами**

З метою спрощення подальшого аналізу обмежимося розглядом ШПС з двійковою фазовою маніпуляцією (ФМ). У цьому випадку при прямокутній формі імпульсів інформаційної послідовності  $b(t)$   $k$ -й вхідний сигнал можна описати виразом (1)

$$S_k(t) = A_k \cdot b_k(t) \cdot a_k(t) \cdot \cos(2\pi ft + \phi_k), \quad (2.1)$$

де  $A_k$  – амплітуда сигналу ( $A_k / P_k = 2$ ,  $P_k$  – потужність сигналу);  $a_k(t)$  – псевдовипадкова послідовність;  $f$  – несуча частота;  $\phi_k$  – значення початкової фази сигналу.

При проведенні аналізу прийемо, що тривалість інформаційного символу  $\tau_b$  послідовності  $b_k(t)$  у ціле число раз більше тривалості імпульсу і  $\tau$  псевдовипадкової послідовності  $a_k(t)$ ,  $\tau_b / N_{\text{тн}} = \tau$ . Припустимо, що оптимальний прийом ФМ ШПС на фоні адитивного білого гауссівського шуму ( $t_n$ ) забезпечується за допомогою когерентного кореляційного приймача, при цьому сигнал  $S(t)$  1 є корисним, а решта сигналів – взаємні перешкоди. На

рис. 2.1 наведено структурну схему приймача та сукупність сигналів, що діють на нього.

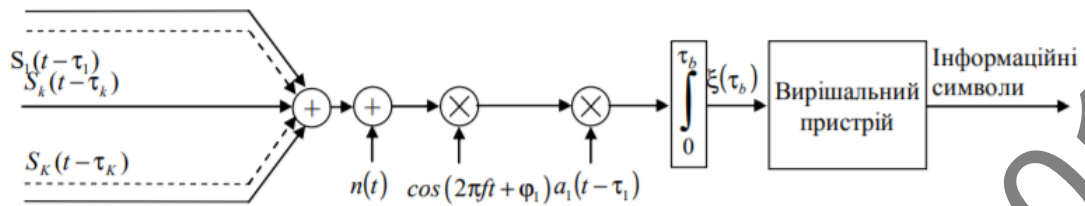


Рисунок 2.1 — Функціональна схема каналу радіоприйому

Сумарний сигнал  $S(t)$ , що надходить на вхід приймача має вигляд [1, 3, 6]:

$$S(t) = \sum_{k=1}^K S_k(t - \tau_k) + n(t) = \sum_{k=1}^K A_k \cdot b_k(t - \tau_k) \cdot a_k(t - \tau_k) \cdot \cos(2\pi f t + \varphi_k) + n(t), \quad (2.2)$$

де  $k$  – кількість джерел ФМ ШПС;  $\tau_k$  та  $\varphi_k$  – випадкові час затримки та фаза  $k$ -го ФМ ШПС відносно корисного сигналу  $S_1(t)$  відповідно .

Інформаційна послідовність  $b_k(t)$  – незалежний випадковий процес, який з рівними ймовірностями приймає значення  $\pm 1$ ,  $a_k(t)$  – також незалежний випадковий процес із значеннями  $\pm 1$ , який застосовується з метою розширення спектра сигналу [41].

Нехай потужності сигналів на вході приймача від всіх джерел ФМ ШПС рівні між собою  $P_1 = P_2 = \dots = P_k$ , тоді вирішальна статистика приймача є такою [1]:

$$\xi_l(\tau_b) = \pm A_l \tau_b + \sum_{k=2}^K W_k \cos \varphi_k + n(\tau_b), \quad (2.3)$$

де  $W_k = 2A_k [b_{k,1} \rho_{k1}(\tau_k) + b_{k,0} \hat{\rho}_{k1}(\tau_k)]$ ;

$$n(\tau_b) = 2 \int_0^{\tau_b} n(t) a_1(t) \cos(2\pi f t + \varphi_1) dt ;$$

$b_{k,1}$ ,  $b_{k,0}$  – частини двох сусідніх інформаційних символів  $k$ -го сигналу, що надходять на вхід інтегратора (при цьому припускаємо, що  $b_{k,1}$ ,  $b_{k,0}$  – незалежні випадкові величини, що приймають значення  $\pm 1$  з імовірністю 0,5);

$\rho_{k1}(\tau_k)$ ,  $\hat{\rho}_{k1}(\tau_k)$  – часткові взаємкореляційні функції, що визначаються виразами:

$$\left. \begin{aligned} \rho_{k1}(\tau_k) &= \int_0^{\tau_k} a_k(t - \tau_k) a_1(t) dt \\ \hat{\rho}_{k1}(\tau_k) &= \int_{\tau_k}^{\tau_b} a_k(t - \tau_k) a_1(t) dt \end{aligned} \right\} \text{ для } 0 \leq \tau_k \leq \tau_b. \quad (2.4)$$

Відносно корисного сигналу  $k$ -й сигнал має зсув за часом до найближчого імпульсу  $\tau_k$  та фази несучої  $\phi_k$ .

Хоча фактичні СРЗ з ШПС використовують детерміновані послідовності, розрахунок таких величин, як границі ймовірності похибки на біт інформації, може призводити до складних розрахунків, якщо не робити припущення про їх випадковість [42]. Якщо послідовність, що розширює спектр  $a_k(t)$  сигналу завади, змінюється від біта до біта або невідома, аналіз ймовірності похибки на біт інформації для детермінованої послідовності або надмірно складний, або неможливий. Крім цього, детермінована, розширююча спектр, послідовність є псевдовипадковою і має декілька властивостей випадковості, тому її аналіз може бути спрощений з достатньо точними результатами [1]. Методи граничних розрахунків та апроксимацій можуть бути модифіковані для аналізу очікуваної детермінованої послідовності, а також розширені (зі збільшенням розрахункової складності) для врахування детермінованої послідовності взаємних завад  $a_k(t)$ ,  $k=2 \dots K$ .

## 2.2 Пропускна здатність

Швидкості, які може забезпечити технологія Long Term Evolution (LTE) в низхідному і висхідному каналах (від базової станції до мобільного пристрою і назад), залежать від безлічі важливих параметрів: методу дуплексування каналів, наявного діапазону частот, вид модуляції підносійних частот, методу завадостійкого кодування даних, використання технологій MIMO, витрати ресурсів на управління, тривалість циклічних префіксів і інші. [43]

Попередні оцінки параметрів планованої мережі стандарту LTE можуть проводитися за трьома сценаріями: окреме з'єднання (Single-Downlink), окремий стільник з багатьма користувачами (Single-Cell Multi-User), багато стільників з багатьма користувачами (Multi-Cell Multi-User);

Принципово новим рішенням для радіоінтерфейсу LTE стало використання нових методів множинного доступу - OFDMA в низхідному каналі (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) і SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) - у висхідному. Важливо, що весь наявний спектр розбивається на ортогональні підносійні по 15 кГц (в низхідному каналі), кожна з яких, в свою чергу, модулюється певним видом модуляції (від QPSK до QAM64). Підносійні по 12 кГц - мінімальна смуга, що виділяється для одного абонента. Використання багатопозиційних методів модуляції вимагає канали з високим рівнем відношення сигнал / шум, погіршення радіоумов призведе до зниження порядку модуляції, а, відповідно, і швидкості передачі даних [44]. Таким чином, при поганих радіоумовах максимальні швидкості передачі даних в низхідному каналі будуть в 3 рази меншими (при QPSK одночасно передаються 2 біти інформації, при QAM64 - 6 біт).

Крім порядку модуляції важливо брати до уваги і схему завадостійкого кодування. Наприклад, кодування зі швидкістю  $\frac{1}{2}$  ще в 2 рази знижує швидкості передачі даних. [31, 33]

Для того щоб оцінити швидкості передачі даних в низхідному каналі (downlink), спочатку обчислюємо, скільки ресурсних елементів (або OFDM-символів) передається в мілісекундному кадрі в залежності від наявної смуги частот. Якщо час поширення невеликий (використовується короткий циклічний префікс), то в одному субкадрі на одній піднесучій передається 14 OFDM-символів. Таким чином, число OFDM символів в кадрі дорівнюватиме  $10 \cdot 14 \cdot 12 \cdot NRB$ .

Далі із загального числа символів, необхідно відняти число символів, виділених під канали управління [45]. Розглянемо приклад з наступними ви-



хідними даними: FDD-режим, 1.4 МГц – ширина наявної смуги частот, навантаження досить високе.

Всього ресурсних елементів -  $10 \cdot 14 \cdot 12 \cdot 6 = 10080$

З них:

- 72 - під PSS
- 72 - під SSS
- 288 - під PBCH
- $10 \cdot 6 \cdot 12 \cdot 3 = 2160$  - під PDCCH, PCFICH, PHICH і частина RS
- 348 - решта опорних сигналів RS (якщо без MIMO, при використанні ж MIMO 2x2 це число подвоїться)

Разом: 2940 OFDM-символів з 10080 зайнято службовими каналами - 29% частотно-часового ресурсу ("КПД" = 71%). На рисунку 2.2 [46] наводяться залежності витрат ресурсів на службові канали від ширини діапазону частот [15].

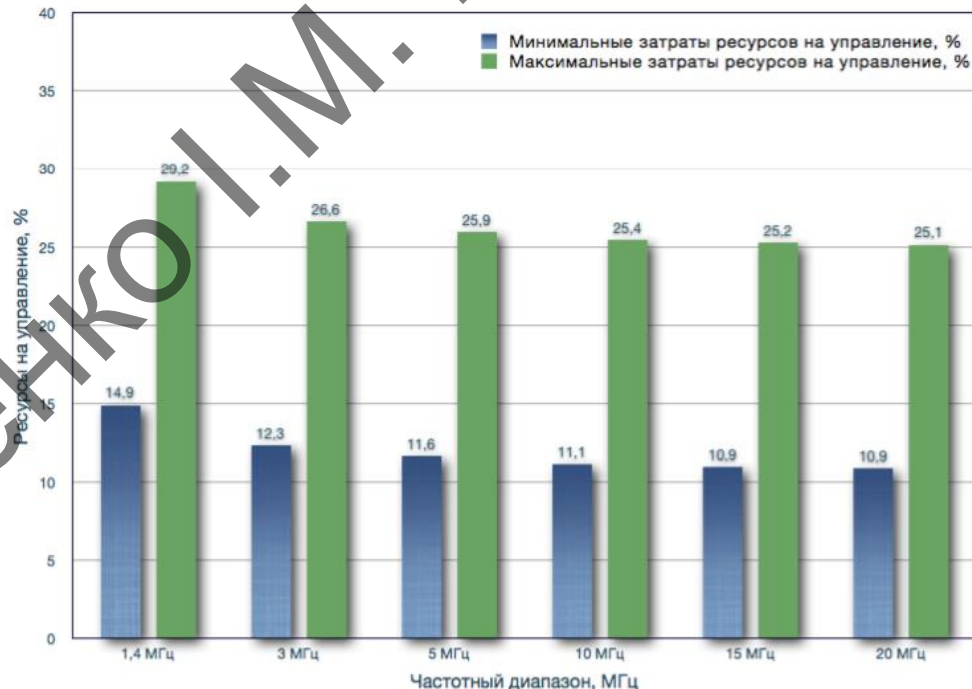


Рисунок 2.2 — Витрати ресурсів на службові канали по діапазонах частот

Наступний крок - відкинувши службові символи, можна також сміливо відкинути ще 1/14 від їх кількості, зайняті циклічним префіксом, який не

несе в собі корисної інформації. Решту інформації необхідно помножити на кількість біт, які вони можуть містити. Число біт в символі буде визначатися способом модуляції підносійних - 2, 4 і 6 біт відповідно для QPSK, QAM16 і QAM64.

Далі необхідно врахувати вплив завадостійкого кодування. При швидкості кодування, наприклад,  $\frac{1}{2}$ , половина від отриманої кількості біт піде на остачу.

Використання MIMO збільшує швидкість в кратне число раз. Це основні особливості, які необхідно враховувати при оцінці швидкості. Виконавши подібні розрахунки, нескладно отримати швидкості передачі даних в низхідному канал [32].

Отже, які ж умови повинні виконатися, щоб в низхідному каналі LTE була швидкість 326,4 Мбіт / с [14]?

- Режим дуплексування: FDD;
- Смуга: 20 МГц;
- Модуляція: QAM64;
- Завадостійке кодування: відсутнє;
- MIMO: 4x4.

Витрати ресурсів на службові канали та передачу циклічних префіксів: не враховуються (при їх обліку швидкість б знизилася в залежності від інтенсивності навантаження на 20-60 Мбіт/с!).

### 2.3 Рівень фазових шумів

Дослідженню фазових шумів в різних генераторах радіосигналів присвячена велика кількість робіт [23]. У даній роботі використовувалася наступна модель спектральної щільності потужності фазового шуму спектральної лінії генератора, широко застосовувана для аналізу сучасних систем зв'язку [13]:

$$S(f) = S(0) \frac{1 + (f/f_z)^2}{1 + (f/f_p)^2}, \quad (2.4)$$

де  $f$  – частотне відлаштування від носійної частоти генератора, а параметри  $S(0)$ ,  $f_z$  і  $f_p$  задають форму залежності спектральної щільності потужності фазового шуму, визначаючи відповідно її величину на нульове відлаштування  $S(0)$ , а також частотні відбудови нуля  $f_z$  і полюси  $f_p$  характеристики  $S(f)$ .

Для зручності опису набір з трьох параметрів  $\{S(0), f_z, f_p\}$ , що задає конкретну форму спектральної щільності потужності фазового шуму в моделі (4), був замінений на еквівалентний набір з трьох параметрів  $\{S(0), S(f=1 \text{ МГц}), S(f=\infty)\}$ . Параметр  $S(f=1 \text{ МГц})$  має сенс спектральної щільності потужності фазового шуму на частотній відбудові 1 МГц, а параметр  $S(f=\infty)$  – спектральної щільності потужності фазового шуму при великих частотних каналу (величини «шумового плато») [41].

Спектральні щільності потужності двох моделей фазового шуму – МФШ1 і МФШ2, які регулюються в цій роботі і відповідають двом наборам параметрів:  $\{S(0) = 80 \text{ дБн / Гц}, S(f=1 \text{ МГц}) = -85 \text{ дБн / Гц}, S(f=\infty) = -120 \text{ дБн / Гц}\}$  для МФШ1 і  $\{S(0) = 80 \text{ дБн / Гц}, S(f=1 \text{ МГц}) = -92 \text{ дБн / Гц}, S(f=\infty) = -120 \text{ дБн / Гц}\}$  для МФШ2.

Моделі МФШ1 і МФШ2 мають однакове шумове плато на частотах більше 108 Гц і однакові значення спектральної щільності потужності на низьких частотах менше 105 Гц. Однак для частотних діапазонів від приблизно 105 до 108 Гц модель МФШ2 має спектральну щільність потужності фазового шуму на 7 ÷ 8 дБ меншу, ніж модель МФШ1. Параметри моделі МФШ1 були отримані на основі аналізу експериментальних даних для інтегрованого приймача, наведених в роботі [14], а модель МФШ2 була побудована авторами на основі власних експериментальних вимірювань спеціально спроектованого генератора для діапазону 60 ГГц.

Слід зазначити, що при аналізі впливу фазового шуму в досліджуваній моделі системи зв'язку розглядався тільки фазовий шум генератора прийма-

ча. Для спрощеного врахування сукупного впливу фазових шумів генераторів на приймальному і передавальному кінцях лінії зв'язку спектральна щільність потужності фазового шуму генератора приймача в моделях МФШ<sub>1</sub> і МФШ<sub>2</sub> була збільшена щодо експериментально виміряних спектральних густин потужності на 3 дБ.

## 2.4 Міжсимвольна інтерференція

Міжсимвольна інтерференція (МСІ) спричиняється розсіюванням сигналу в часі при його проходженні каналом зв'язку [12]. Зокрема, на виході багатопроменевого каналу корисний сигнал виявляється деформованим так, що одночасно присутні відгуки каналу на відрізьку вхідного сигналу, що відносяться до досить віддалених моментів часу. При передачі дискретних повідомлень це призводить до того, що при прийомі одного символу на вхід прийомного пристрою впливають також відгуки на більш ранні (а іноді і більш пізні) символи, що у цих випадках можуть (при неоптимальних методах прийому) виявляти себе як завади.

Міжсимвольна інтерференція викликається нелінійністю ФЧХ каналу й обмеженістю його смуги пропускання. В радіоканалах причиною МСІ найчастіше є багатопроменеве поширення радіохвиль.

$$g_{cl}(t) = \sum_{l=1}^D s_r(t - rT) \quad (2.5)$$

Сигнал, котрий визначає сигнал МСІ, обумовлений символами, переданими після аналізованого. Чим більша швидкість передачі символів  $1/T$  у кожному частотному каналі при заданій його смузі пропускання, тим більша кількість сусідніх з аналізованим символів визначає сигнал  $g_{cl}(t)$ .

## 2.5 Вузькосмугові завади

Вузькосмугові завади: спектр близький до лінійного, максимальний рівень припадає на одну частоту, можлива наявність гармонік малих порядків,

при цьому енергія спектра зосереджена в основному у відносно вузькій смузі частот близько деякої фіксованої частоти  $\omega_0$

- гармонійний сигнал  $u(t) = u_m \sin(\omega t + \varphi)$

Джерела вузькосмугових завад - системи зв'язку, системи живлення на змінному струмі.

### 2.5.1 Способи опису перешкод

- Для періодичних перешкод такими є: частота  $f$  і амплітуда  $X_{\max}$ . Ці параметри визначають амплітуду напруги перешкоди у вторинних контурах  $U_{\max}$ .
- Для неперіодичних перешкод найважливішими параметрами є наступні:
  - швидкість зміни  $\Delta x / \Delta t$  (швидкість наростання або спаду). Дана величина визначає максимальну напругу перешкоди  $U_{s\max}$ , викликану у вторинному ланцюзі;
  - інтервал часу  $\Delta t$ , протягом якого перешкода  $x$  має максимальну швидкість зміни амплітуди, цей інтервал ідентичний тривалості дії напруги перешкоди  $U_s$  у вторинному ланцюзі;
  - максимальне значення зміни амплітуди  $\Delta x$ , пропорційне інтегралу напруги перешкоди у вторинному ланцюзі за часом (площі імпульсу перешкоди) [13].

### 2.6 Спектральна ефективність

Спектральна ефективність системи мобільного зв'язку є показником, який вираховується як відношення швидкості в (біт / с) переданих даних на 1 Гц використовуваної смуги частот (біт / с / Гц). Ця величина характеризує швидкість передачі інформації в заданій смузі частот. Спектральна ефективність має великий вплив на ефективність використання частотного ресурсу, виділеного мережі і якість послуг (QoS).

Підвищення спектральної ефективності технології LTE в мережах мобільного зв'язку наступного покоління дозволяє:

- знизити витрати за використання виділеного діапазону частот;
- зменшити витрати на придбання, установку, електроживлення та обслуговування базових станцій;
- збільшити ємність мережі за допомогою розширення стільниці, що в свою чергу підвищує пропускну здатність всієї системи в цілому і безпосередньо впливає на якість обслуговування кінцевих користувачів, особливо в умовах міста.

Однак зі зростанням спектральної ефективності систем мобільного зв'язку підвищується загальна вартість її компонентів і збільшується ймовірність виникнення помилок при передачі даних. Оптимальне співвідношення між зазначеними параметрами є одним з найбільш актуальних питань для операторів стільникового зв'язку і виробників обладнання.

Крім традиційного підходу до оцінки спектральної ефективності систем мобільного зв'язку, існують і інші підходи до розрахунку спектральної ефективності, які враховують не тільки заданий канал зв'язку, але і систему в цілому, наприклад:

- в деяких випадках спектральна ефективність системи розраховується як відношення можливої швидкості (в біт / с) переданих даних для всіх абонентів в певній географічній зоні на 1 Гц смуги частот (біт / с / Гц / соту або біт / с / Гц / зону обслуговування);
- спектральна ефективність може розраховуватися як відношення максимальної пропускну здатності для всіх користувачів мережі до ширини смуги частот одного каналу в Гц.

Будемо користуватися визначенням спектральної ефективності каналу зв'язку в системі (біт / с / Гц). Там, де буде можливо, будемо приводити і дані по спектральній ефективності системи в цілому.

З огляду на потреби забезпечення більш високої пропускної здатності і можливе збільшення доступного радіочастотного спектру для мереж 3G, при розробці LTE передбачено використання більш широкої смуги частот ніж, ніж 5 МГц. У той же час для забезпечення більшої гнучкості при розробці стандарту LTE (Release 8 E-UTRAN) передбачається як використання ширини смуги частот в 5 МГц, так і менше ніж 5 МГц [23].

Основним завданням, що стоїть перед розробниками LTE, є завдання значного підвищення спектральної ефективності (доведення її до 5 біт на Герц), пропускної спроможності по прямому каналу (лінії «вниз») до 100 Мбіт / с при ширині смуги частот 20 МГц (розглядаються також і інші смуги: 1,25 МГц, 2,5 МГц; 5МГц; 10 МГц; 15 МГц) і 50 Мбіт / с по зворотному (лінії «вгору»), а також в скороченні затримки передачі пакетів даних до 10 мс в порівнянні з 80 мс в HSDPA (Реліз 5) і спрощення архітектури мережі [16].

## 2.7 Рівень шуму

Шуми в системах 5G виникають не тільки від абонентів, які перекривають лінії, а й за рахунок виникнення теплового шуму від самого приладу, що приймає сигнал. На рисунку 2.3[12] зображено аналіз шумів в мережі 5-го покоління.

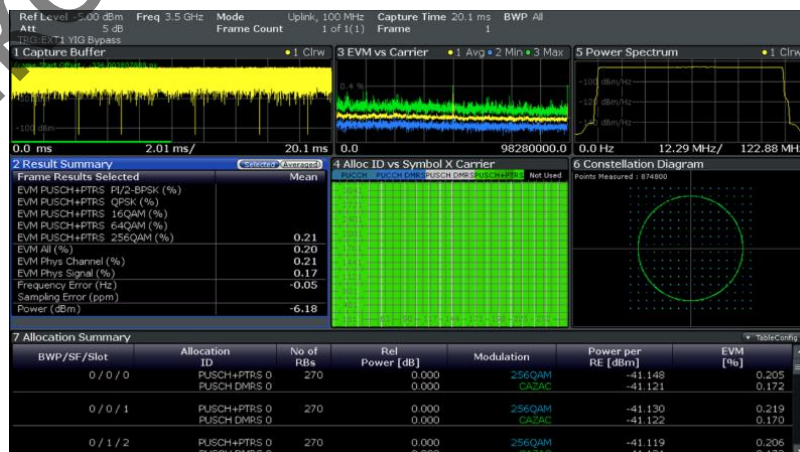


Рисунок 2.3 — Аналіз шумів в мережі 5G

Саме ці результати, що описані, можемо проаналізувати та використати для моделювання нашої системи радіозв'язку.

### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ

Щорічно все більше розвивається система безпроводної передачі даних, а отже, вимоги до швидкості передачі прямопропорційні росту об'єму інформації, що передається.

На шляху передачі інформації від одного користувача до іншого, існує багато завад, які можливо зменшити. Нашою метою є не тільки зменшення рівня завад, а й створення можливості дослідження інтегральних характеристик, що зменшує собівартість їх отримання.

Адже існуючий метод аналізу за допомогою аналізатору спектру є досить тяжким та має високу собівартість. А наша мета знайти альтернативний варіант дослідження інтегральних характеристик, який допоміг би нам отримати якісні характеристики за допомогою спрощених алгоритмів роботи.

Математичний огляд сигналу, що нам потрібен – не можливий, через досить високу складність обчислень. Тому для аналізу ми використовуємо середовище MatLab 2018b та стандартну модель пакету 5G Toolbox, за допомогою якого було проведено наше дослідження.

Блок-схему каналу передачі OFDM сигналів, яку було змодельовано для проведення нашого дослідження, зображено на рисунку 3.1.

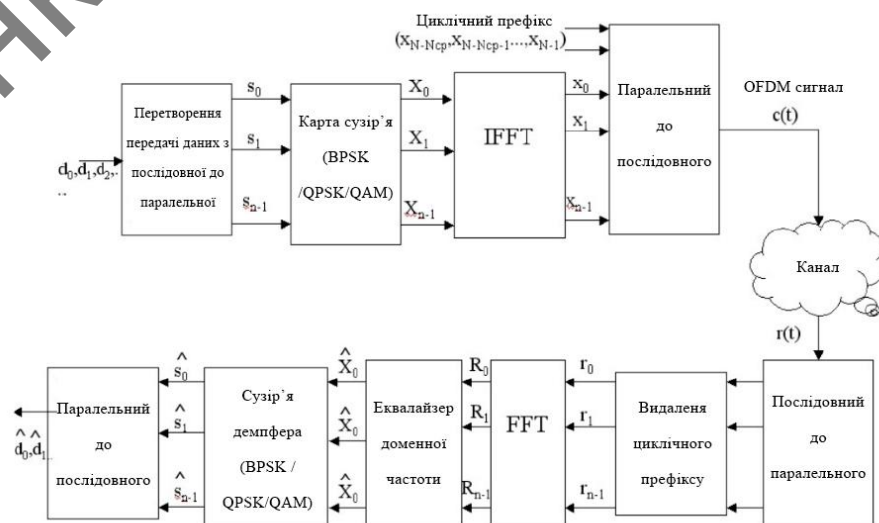


Рисунок 3.1 — Блок-схема каналу передачі OFDM сигналів



В ході моделювання основою є частотна область, яку ми можемо виразити з рівняння, що взято з документації до 5G Toolbox [51]:

$$f(n) = \sum_{k=0}^{N-1} F(k) \exp\left(\frac{j2\pi kn}{N}\right),$$

де  $f(n)$  – частота каналу;  $F(k)$  – частотна область;  $N$  – кількість підносійних;  $k$  – змінна частота.

На приймачі передача даних з послідовної перетворюється на паралельну. Потім сигнал піддають  $FFT$ . Сигнал частотної області, в якій існує обрана підносійна, виражається як:

$$F(K) = \sum_{n=0}^{N-1} f(n) \exp\left(-\frac{j2\pi kn}{N}\right).$$

Таким чином отримуємо сигнал нашої системи, характеристики якого проаналізуємо нижче.

### 3.1 Задання спектру сигналів каналу зв'язку

Для того, щоб проаналізувати інтегральні характеристики, перше, що потрібно зробити – проаналізувати частотну маску, це допоможе нам проаналізувати сигнал, що проходить.

Сама система працює за принципом розділення потоку інформації по великій кількості підносійних послідовно [36], а передача інформації ведеться на цих підносійних паралельно. Не всі канали, що існують, задовольняють цю вимогу, тому доцільно буде обрати ортогональні частотні канали. Функції, що їх описують, ортогональні одна одній, і для них виконується умова

(3.1)

$$\int_0^T \sin 2\pi f_l(t) \cdot \sin 2\pi f_k(t) dt = 0, k \neq l, \quad (3.1)$$

де  $T$  – довжина сигналу, що передається,  $f_l$  та  $f_k$  – частоти  $l$ -го та  $k$ -го носійних сигналів відповідно.

Так як кожен символ, довжиною сигналу  $T$  передається за допомогою обмеженою в часі функцією, то її спектр описують функцією типу

$$\frac{\sin 2\pi(f - f_i)}{2\pi(f - f_i)}, \quad (3.2)$$

де  $f_i$  – центральна носійна частота  $i$ -го каналу.

Синусоїда, що зображена на рис. 3.2 [44] – зображення спектру сигналу символу, довжиною  $T$ , що передається.

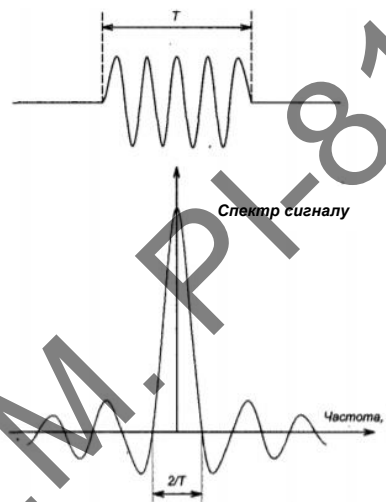


Рисунок 3.2 — Символ довжиною  $T$  та його спектр

Сама система такого типу, часто перекриває сама ж себе, але через те, що носійні сигнали ортогональні, це забезпечує частотну незалежність сигналів один від одного та відсутність інтерференції.

Але існує проблема накладання сигналів одного абонента на іншого. Для аналізу даного накладання, необхідно розглянути частотну маску OFDM (рис. 3.3) та проаналізувати даний графік.

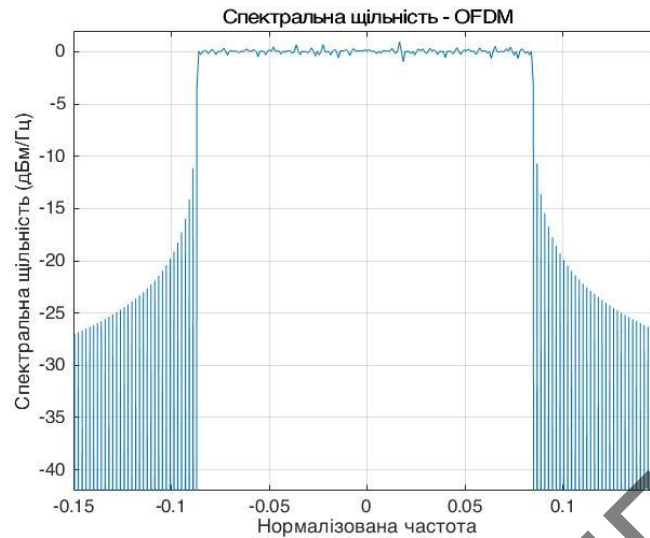


Рисунок 3.3 — Частотна маска OFDM та шуми сигналу

Сигнал, що знаходиться під частотною маскою – саме той сигнал, який передається до отримувача. За межами частотної маски знаходяться шуми, які впливають на даний сигнал. Але за допомогою кодування, вони відсіюються та не потрапляють до отримувача.

В результаті, після огляду форми частотної маски, на вході терміналу отримуємо сигнал з таким спектром (рис. 3.4). Він розбитий на підносійні в межах маски, які несуть інформацію, та по бокам – шуми, як впливають на сигнал.

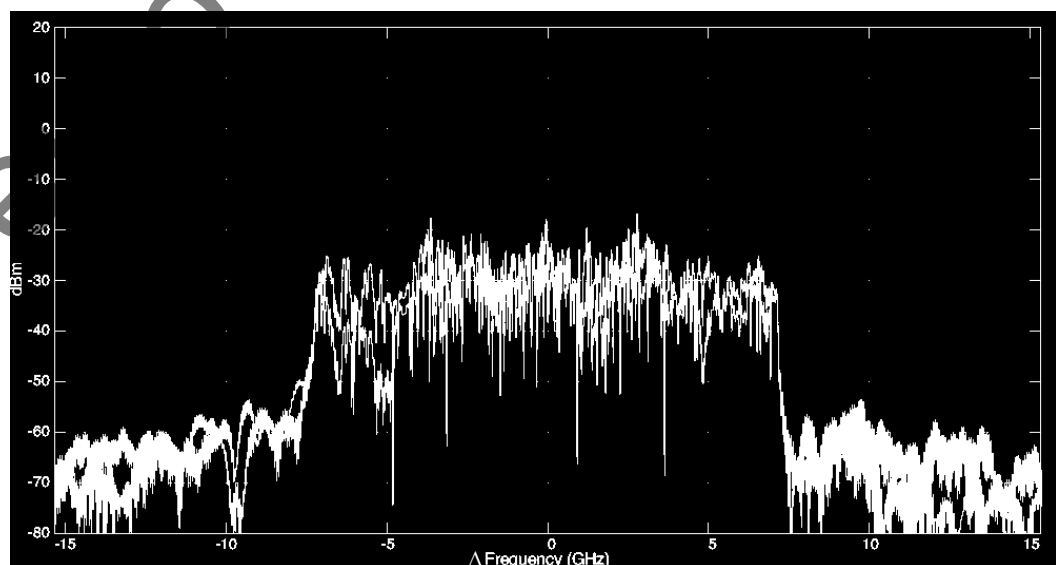


Рисунок 3.4 – Спектр сигналу 5G з OFDM модуляцією

Частота, яка використовується при моделюванні є частотою зміщення відносно центральної частоти, яка рівна 60 ГГц.

Максимальна кількість абонентів, які можуть обслуговуватися однією станцією, визначається кількістю виділених для неї носійних частот. На одну носійну частоту, припадає 7 абонентів. Але навіть з таким розділенням, ми бачимо (рис. 3.4), що при користуванні абонентами однією станцією, виникають завади, які впливають на якість сигналу.

### 3.2 Визначення рівня шуму та пропускної здатності каналу зв'язку

Дослідження рівня шумів дуже залежить від умов, в яких він вимірюється, апаратури, що використовується, та ще від багатьох факторів, які враховуються досить індивідуально для кожної системи радіозв'язку.

Для подальшого дослідження, ми беремо дані, проаналізовані в розділі 2, та використовуємо їх. На основі цих даних в подальшому, досліджуються обрані інтегральні характеристики.

На рисунку 2.3, ми можемо оцінити, що наша характеристика має шумоподібний характер, потужність сигналу — -6.18 дБ, частотна похибка — -0.05 Гц, смуга пропускання — 122.9 МГц, модуляція — 256QAM, затримка сигналу – 20 мс.

Мережі 5G працюють в широкому діапазоні, приблизно (20-60) ГГц [36], а це означає, що в цій мережі наявна велика кількість вільного спектру, який можуть зайняти користувачі даної мережі.

Пропускна здатність в даних мережах, може досягати до 20 Гб/с, але на даний момент, реальна пропускна здатність досягла 11 Гб/с.

Пропускна здатність ( $C$ ) можна визначити за формулою Шеннона (3.3) [51]

$$C = \Delta f \log_2 \left( 1 + \frac{P_S}{P_N} \right), \quad (3.3)$$

де  $P_S$  — потужність корисного передавача,  $P_N$  — сумарна потужність завади в каналі,  $\Delta f$  — смуга робочих частот.

В нашій мережі 5-го покоління, що досліджується, смуга робочих частот –  $\Delta f = 40$  ГГц, відношення сигнал/шум – 1:15.

Отже, пропускна здатність, відповідно до (3.3), буде:

$$C = 4 \text{ Гбіт/с.}$$

Проаналізувавши розрахунок, бачимо, що при збільшенні рівня сигнал/шум наша пропускна здатність буде збільшуватися, а чим вона більша, тим більше каналів, а це, в свою чергу збільшує кількість користувачів, що обслуговуються.



Рисунок 3.5 — Залежність кількості абонентів від ширини каналу

Ширина каналу на системах зв'язку 5-го покоління досить широка, як бачимо з рисунку 3.5, близько 120 МГц, а отже, кількість абонентів, що обслуговуються, досягає понад 10 тисяч користувачів.

Для справедливості, враховуємо, що ці дані є поверхневими, адже в реальних умовах існує багато факторів (тепловий шум, завади інших абонентів і т.п.), які не були враховані. Загалом, враховуючи, що шум знаходиться на рівні -65 дБ (рис. 3.4), та кількість абонентів  $\sim 10\,000$ , завада буде на рівні +40 дБ. Щоб наша система працювала стабільно, необхідно, щоб  $\text{SNR} = 1:15$ .

### 3.3 Оцінка спектральної ефективності каналу

Проаналізувавши в розділі 2.6 спектральну ефективність ( $\eta$ ), можемо змоделювати її для нашої мережі 5-го покоління з *OFDM* модуляцією, та по-

рівняти графіки залежностей з прямими конкурентами ортогонального частотного розділення каналів — *UFMC* та *FDMC*.

Розрахунки спектральної ефективності проводимо наступним чином[24]:

$$\eta_{OFDM} = \frac{m \times N_{FFT}}{N_{FFT} + N_{CP}},$$

$$\eta_{UFMC} = \frac{m \times N_{FFT}}{N_{FFT} + L - 1},$$

$$\eta_{FBMC} = \frac{m \times S}{S + K - \frac{1}{2}},$$

де  $K$  – коефіцієнт модуляції;  $N_{CP}$  – кількість циклічних префіксів;  $N_{FFT}$  – кількість точок для перетворення Фур'є;  $S$  – матриця для модуляції сигналу,  $m$  – кількість бітів в підносійній.

Вхідні дані нашого дослідження:  $K = 4$ ;  $N_{CP} = 43$ ;  $N_{FFT} = 1024$ ;  $S = [1:2:30]$ ;  $m = 4$ .

Під час моделювання змінювалася тривалість сплеску від 1 мс до 30 мс. Результат моделювання представлено на рис. 3.6.

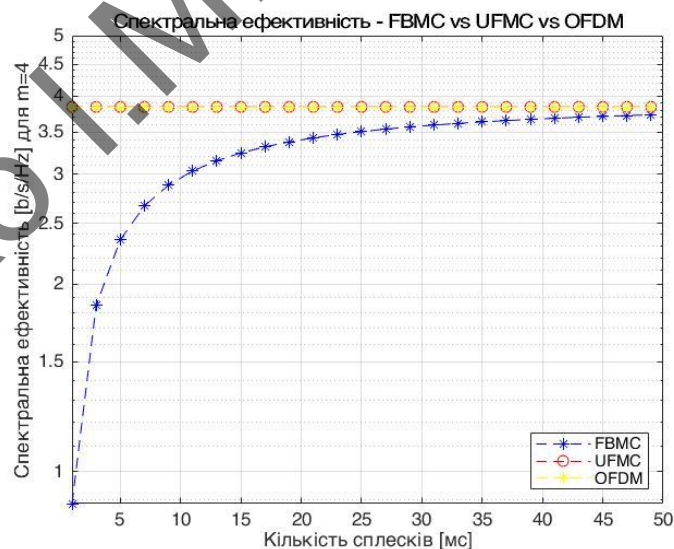


Рисунок 3.6 — Порівняння спектральних ефективностей *OFDM*, *UFMC*, *FBMC*

Можемо зробити висновок, що спектральна ефективність *FDMC* збільшується з збільшенням кількості сплесків, а *UFMC* та *OFDM* мають постійну ефективність та перекривають одна одну.

### 3.4 Дослідження BER-характеристик каналу зв'язку

Для визначення похибки передачі інформації в OFDM системі, необхідно провести оцінку підносійної в каналі.

Оцінка підносійної проводилася за наступними формулами [51]:

$$H_l = I(0)H \left( 1 + \frac{\sum_{k \neq l} X_{P,k} I(k-l)}{I(0)X_{P,k}} \right) + \frac{W_l'}{X_{P,k}}.$$

З цього рівняння ми отримаємо:

$$H_l = \alpha_l H + \frac{W_l'}{X_{P,k}} = \alpha_l H + \vartheta_l,$$

де  $\alpha_l$  – детермінована величина із заданим індексом підносійної, набір символів  $X_{P,k}$  та фіксованої частоти, щоб компенсувати його.

Після цього, коефіцієнт похибки ми можемо виразити за рівнянням:

$$P_b(X_{m,l}) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{P_b(X_{m,l} + p + jq)}{2\pi\sigma_{ICI}^2} e^{-\frac{p^2+q^2}{2\sigma_{ICI}^2}} dp dq.$$

Нарешті, для отримання загальної похибки передачі інформації нам доводиться визначити середнє значення рівняння для всіх підносійних та точок сузір'я QPSK з індексом  $m$  наступним чином:

$$P_b = \frac{1}{MN} \sum_{l=-N/2}^{N/2-1} \sum_{m=1}^M P_b(X_{m,l}).$$

За результатами моделювання отримано BER-характеристики, вхідними параметрами якої є:

- кількість компонентів розкладання FFT: 1024
- кількість бітів: 4
- SNR: 1:15

Результат моделювання зображено на рисунку 3.7

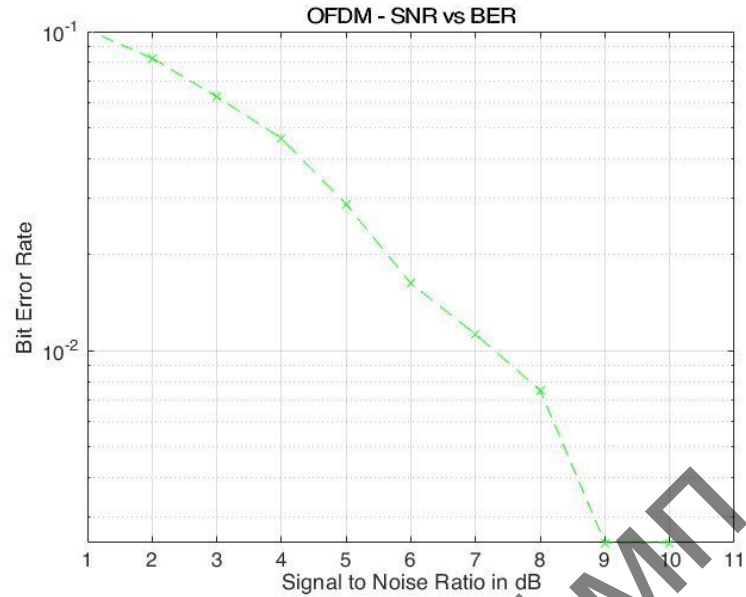


Рисунок 3.7 — Залежність похибки передачі даних від відношення сигнал/шум

Змінимо кількість бітів, і проаналізуємо, як змінилась наша характеристика. Візьмемо такі значення: 2, 6 та 8, та отримаємо результати на рисунках 3.8а,б,в відповідно.

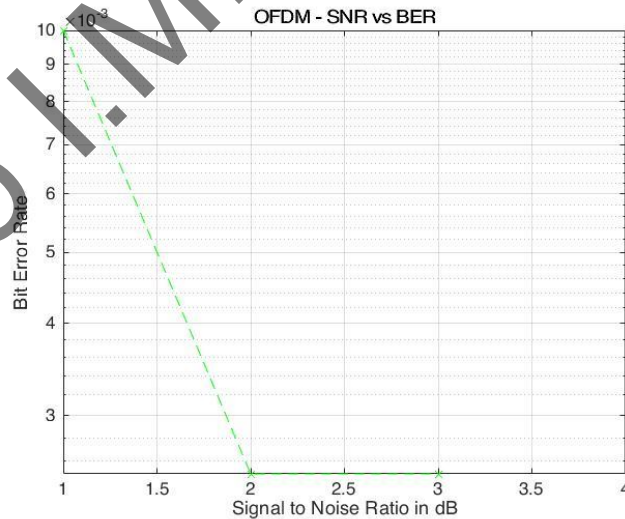
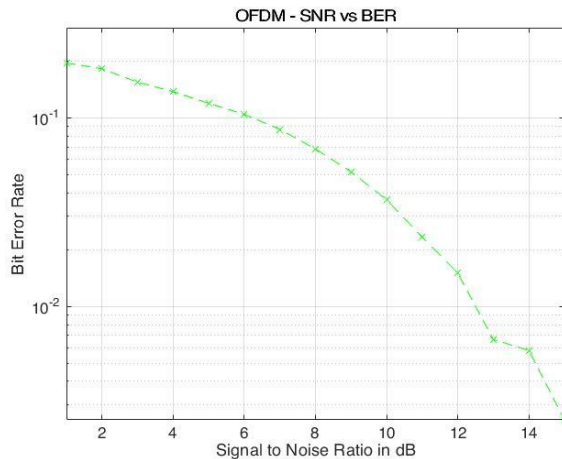
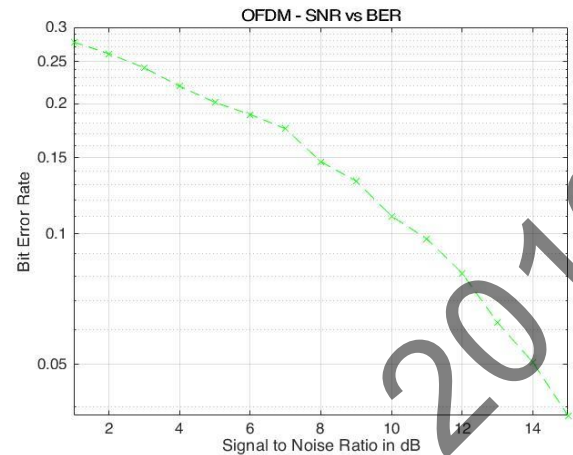


Рисунок 3.8 а) — 2 біти





б)



в)

Рисунок 3.8 — Залежності похибки передачі даних від кількості бітів:

а) — 4 біти; б) — 6 бітів; в) — 8 біти

Проаналізувавши характер графіків, зображених на рисунках 3.7 та 3.8 а, б, в, бачимо, що зі збільшенням бітів зростає співвідношення сигнал/шум, а зі зменшенням – зменшується частота похибки на біт інформації. З цього можемо зробити висновок, що потрібно обрати оптимальне значення, при якому співвідношення сигнал/шум і похибка на біт інформації будуть максимально задовільними.

В даному розділі досліджено основні інтегральні характеристики та їх енергетичний спектр. Визначено, що пропускна здатність змодельованої системи рівна близько 4 Гб/с. А також було визначено завади, які впливають на розповсюдження сигналу в нашому каналі, пов'язані з зовнішніми та внутрішніми впливами, та те, що при створенні сигналу в обраному каналі, необхідно враховувати шум від сусідніх абонентів, що в нашому випадку сягав - 65 Дб. А також було визначено, що сигнал в 5G мережі має шумоподібний характер, а отже, можемо зазначити, що для вимірювання інтегральних характеристик каналу зв'язку (обраних нами), можливе використання радіометра, що значно знизить вартість такого вимірювання (орієнтовно в 10 разів).

## 4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ

Цей розділ призначений для проведення маркетингового аналізу стартап проекту для визначення можливості його застосування на ринку та можливих варіантів його використання.

### 4.1 Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології)

В даному підрозділі проводиться аналіз змісту ідеї, можливі варіанти застосування, основні вигоди, що можуть бути у даного товару та основні відмінності від існуючих аналогів.

Таблиця 4.1 — Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувачів
Модулювання систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів	Спрощення процесу дослідження інтегральних характеристик систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів	Менший вхідний поріг по знанням і вмінням для роботи з дослідження інтегральних характеристик систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів
	Можливість розробки обладнання для дослідження інтегральних характеристик систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів з меншою собівартістю	Зниження вартості використання обладнання для дослідження інтегральних характеристик систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів
	Вдосконалення існуючого підходу для визначення інтегральних характеристик систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів	Новий підхід до застосування інтегральних характеристик систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів

Конкурентами є подібні методи та механізми застосування радіометричного підходу для дослідження радіоканалу.

До довгострокових перспектив можна віднести:

- Збільшення кількості клієнтів, що будуть надавати перевагу цьому методу завдяки його меншій собівартості та простоті.
- Використання методу з застосуванням оптимізованого радіометричного підходу.

#### 4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В даному підрозділі виконується аудит технології проекту, за допомогою можливо реалізувати ідею проекту.

Визначення технологічної здійсненності проекту включає наступні складові (табл. 4.3):

- технології за якими буде виготовлено товар згідно ідеї;
- такі технології існують чи їх необхідно розробити/вдосконалити;
- доступність ці технології авторам проекту.

Таблиця 4.3 — Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідеї проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Моделювання інтегральних характеристик систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів	Технологія 1 (технологія надання послуги)	Потрібно розробити	Доступна
2		Технологія 2 (наявність бази досліджень)	Наявні	Доступна
3		Технологія 3 (база проведення досліджень)	Потрібно розробити	Доступна
4		Технологія 4 (оформлення результатів досліджень)	Потрібно розробити	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Технологія 2				

### 4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

В цьому пункті визначаються ринкові можливості, котрі можуть бути використаними в разі ринкового впровадження проекту, а також ринкові загрози, це дозволяє спланувати варіанти та напрямки розвитку проекту з урахуванням стану ринку, потреб можливих клієнтів та пропозицій, що надають проекти-конкуренти (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 — Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Загальний обсяг продажів, ум. од.	25000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер)	Немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ В 7372 ISO 9000-2007
6	Середня норма рентабельності в галузі (або ринку), %	25

В результаті проведеного дослідження впливає що проект привабливий для виходу на ринок за попереднім оцінюванням.

Наступним кроком є проведення аналізу ринкового середовища: необхідно створити таблицю факторів, що не дозволяють впровадити проект на ринок (табл. 4.6), та таблицю факторів, що навпаки сприяють його впровадженню.

Таблиця 4.6 — Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Агресивність конкурентів	Вплив на систему	Може порушити налагоджену систему дистрибуції
2	Нестабільність політичної ситуації в світі	Балансування курсу	Може порушити надійну систему постачальників
3	Висока вартість продукції	Підвищення ціни	Підвищить агресивність конкурентів
4	Економічні складності	Відсутність фінансування	Порушили фінансове забезпечення компанії

Таблиця 4.7 — Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Тривале існування	Тривале існування на ринку	Дає можливість виходу на інші ринки
2	Моніторинг потреб споживача	Розуміння потреби споживача, розширення пропозицій на ринку	Розширення діапазону продукції на ринку що випускається компанією
3	Лібералізація торговельних бар'єрів	Робота відділу менеджменту	Покращує роботу системи дистрибуції
4	Стабілізація бізнес середовища	Формування стабільного	Завдяки стабілізації можливо поліпшити фінансове становище компанії

Таблиця 4.8 — Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможним)
1) Вказати тип конкуренції — монополія/олігополія/монополістична/чиста	Локальний/національний бізнес. Глобальні сили не такі вагомі відносно до локальних, які визначаються сертифікацією, держ. нормами та стандартами	Працю в рамках спрощення процесу виміру пропускної здатності радіоканалу
2) За рівнем конкурентної боротьби — локальний/національний/а/..	Локальний	Необхідно прикласти якомога більші зусилля для охоплення усього ринку
3) За галузевою ознакою — міжгалузева/внутрішньогалузева	Внутрішньогалузева. Конкуренція ведеться в технічній галузі України	Для того, щоб зайняти стійкі конкурентні позиції на ринку, необхідно зосередити зусилля на пошуку конкурентних переваг
4) Конкуренція за видами товарів	Товарно-родова. Конкуренція на рівні технології задоволення потреб. Існує конкуренція з іншими моделями чи алгоритмами	Веде конкурентну боротьбу з товарами-субститутами
5) За характером конкурентних переваг — цінова/нецінова	Нецінова. При виборі алгоритмів та методів споживач бере до уваги простоту методу та малу собівартість процесу дослідження полоси пропускання	Головною конкурентною перевагою є мала собівартість використання методу
6) За інтенсивністю — марочна/не марочна	Марочна	Диференціація методів та моделей за мотивом задоволення потреб

Таблиця 4.9 — Аналіз конкуренції в галузі за М.Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти	Потенційні конкуренти	Постачальник	Клієнти	Товари заміники
	Навести перелік прямих конкурентів	Визначити бар'єри входження в ринок	Визначити фактори сили постачальників	Визначити фактори сили споживачів	Фактори загроз з боку заміників
<b>Висновки:</b>	На ринку спостерігається одночасно тенденція до збільшення кількості пристроїв з використанням 5G та збільшення конкуренції на ринку	Бар'єром входу на ринок є вартість організації бізнесу з виробництва пристроїв для визначення інтегральних характеристик систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів і сягає 100 тис. дол	Від постачальників залежить кінцева ціна, а також якість отриманого обладнання	Споживачі є компанією, що займаються створенням радіомереж, а також аналізом та вдосконаленням існуючих. Купівля матиме імпульсний характер	Конкуренція зі сторони субститутів — інших методів за допомогою яких можливо виконати дослідження інтегральних характеристик систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів

Виходячи з попереднього аналізу стає зрозумілим, що факторами, які мають вплив на конкуренцію в галузі є споживачі та постачальники. А також значного впливу набуває конкуренція з боку товарів-субститутів.

Отже в межах структурного аналізу конкуренції визначено тип конкуренції — монополістична конкуренція.

Фактори конкурентоспроможності наведено в табл. 4.10

Таблиця 4.10 — Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактори конкурентоспроможності	Обґрунтування вибору
1	Частка ринку	Виходячи з того, що існує група компаній, які контролюють понад 45% ринку, а також й те, що інтенсивність ринку є головною силою, яка діє на конкуренцію в галузі, основним фактором виступає частка ринку, яку займає виробник. Чим більша частка, тим більшими можливостями на ринку володіє виробник
2	Ціна	Чим вигідніше ціна для імовірного споживача, тим більше вірогідність його вибору
3	Асортимент	В разі збільшення інтенсивності між конкурентами завоювання можливе в разі використання нових методів та алгоритмів
4	Доступ до каналів розподілу	Споживач в більшості випадків більш схильний до експериментів, тому важко завоювати
5	Торговий маркетинг	прихильність покупця і її втримувати. Тому важлива дистрибуція, маркетинг і логістика.
6	Рівень диференціації ТМ	В умовах існування на ринку великої кількості конкурентів і великого ступеня схожості товарів є сенс в чіткому диференціюванні власної ТМ від ТМ конкурентів на ринку, надаючи більшої унікальності власному бренду
7	Репутації виробника	Зі збільшенням репутації збільшується рівень довіри, а отже при виході на ринок з новими товарами попит буде залежати від репутації
8	Рівень лояльності до бізнесу	Чим більше лояльність споживачі до компаній, тим більше у продукції компанії збиту
9	Унікальність позиціонування	Унікальне позиціонування є ключем до захисту від конкурентів у разі коли присутня монополістична конкуренція
10	Маркетинговий бю-	Від бюджету, що виділяється на маркетинг ком-



	джет	панії чи продукту залежить наскільки успішно можливо реалізувати маркетингову стратегію.
--	------	--

Сильні сторони:

- унікальне позиціонування;
- нижча ціна порівняно з конкурентами;
- рівень диференціації ТМ;

Слабкі сторони:

- відсутність репутації виробника;
- слабкий маркетинг;

Отримавши найслабкіші та найсильніші сторони стартап проекту «Модельовання систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів» у порівнянні з конкурентами використовуючи аналіз факторів та результати аналіз загроз сформуємо матрицю *SWOT*-аналізу (табл. 4.11).

Таблиця 4.11 — *SWOT*-аналіз стартап проекту

<b>Сильні сторони</b>	<b>Слабкі сторони</b>
1. Унікальне позиціонування; 2. Рівень диференціації; 3. Налагоджена система дистрибуції; 4. Вертикальна інтеграція 5. Нижча ціна в порівнянні з аналогами	1. Відсутність репутації виробника 2. Залежність маркетингової стратегії від власника 3. Недостатнє забезпечення ресурсами 4. Відсутність чітко вираженої маркетингової стратегії
<b>Можливості</b>	<b>Загрози</b>
1. Покращення іміджу компанії 2. Збільшення продажу за рахунок експансії 3. Збільшення кількості реалізованої продукції	1. Скорочення платоспроможності попиту 2. Можливе зростання цін 3. В наслідок великої кількості товарів-субститутів можлива втрата споживачів

З SWOT-аналізу виходить, що найбільш негативний вплив на реалізацію проекту на ринку чинить саме ринкове середовище. Це пов'язано з нестабільністю економіки в країні.

Це все породжує проблему росту галузі, покладнає вихід на ринок менш сильних виробників, поява на ринку великих інтернаціональних компаній, що збільшує інтенсивність конкуренції.

Найбільшою загрозою для стартап-проекту є підняття прибутковості за рахунок зменшення попиту.

Необхідно розробити альтернативи ринкової поведінки для виведення проекту на ринок (табл. 4.12).

Таблиця 4.12 — Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива(комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стимулювання збуту	Можливо суттєво збільшити обсяг	декілька місяців
2	Розширення асортименту	Можливо залучити нових споживачів	до пів року
3	Збільшення представленості	Можливо розширити діапазон цільової аудиторії	кілька років

Найоптимальнішою є перша альтернатива по часу реалізації.

#### 4.4 Розробка ринкової стратегії стартап проекту

Передусім розроблення ринкової стратегії це визначення стратегії охоплення ринку, тобто опис цільовими груп, що є потенційними споживачами розроблюваного продукту (табл. 4.13).

Таблиця 4.13 — Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний в межах цільової групи(сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Компанії-розробники радіомережевого обладнання	Готовий	Високий	Максимальна	Просто
2	Компанії, що займають дослідженням радіомереж	Готовий	Високий	Середня	Просто
Як цільові групи обрано: компанії розробники радіомережевого обладнання та компанії, що займаються дослідженням радіомереж					

В результаті аналіз обрано стратегію диференціального маркетингу.

Складемо базову стратегію розвитку для роби в обраних сегментах (табл. 4.14).

Таблиця 4.14 — Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Стратегія диференційованого маркетингу	Передбачається надання товару важливих на погляд споживача властивостям, що відрізняють його від товарів-конкурентів.	Реалізація потребує більш високих затрат, але при диференціації можливо досягти більшої рентабельності за рахунок готовності ринку продукт	Реалізація відбувається завдяки ринкового позиціонування

Також необхідно обрати конкурентну поведінку (табл. 4.15).

Таблиця 4.15 — Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ні	Залучати нових і забирати існуючих у конкурентів	Частково	Наслідування лідеру

У відповідності до вимог користувача до виробника, до продукту (табл. 4.5), до базової стратегії розвитку (табл. 4.14) та до стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.15) сформуємо стратегію позиціонування (табл. 4.16), за якою споживачі можуть ідентифікувати марку чи продукт.

Таблиця 4.16 — Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1	Відповідність дійсним нормам	Наслідування лідеру	Реалізація потребує більш високих затрат, але при диференціації можливо досягти більшої рентабельності за рахунок готовності ринку прийняти більш простий у використанні продукт	Доступна ціна Використання нового підходу Унікальність

#### 4.5 Розроблення маркетингової програми

Для початку необхідно скласти маркетингову концепцію товару, тому у табл. 4.17 виконуємо підбиття підсумків аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.17 — Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Спрощення процесу дослідження інтегральних характеристик систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів	Менший вхідний поріг по знанням і вмінням для роботи з дослідження радіоканалу зв'язку	Більш простіше використання обладнання
2	Обладнання для дослідження інтегральних характеристик систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів з меншою собівартістю	Зниження вартості використання обладнання для дослідження інтегральних характеристик систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів	Менша собівартість використання обладнання та проведення досліджень
3	Вдосконалення існуючого підходу для визначення інтегральних характеристик систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів	Новий підхід до застосування методу для дослідження інтегральних характеристик систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів	Використання нового підходу щодо дослідження інтегральних характеристик систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів

Далі необхідно розробити маркетингову модель товару задля уточнення ідеї продукту, його складових та особливостей (табл. 4.18).

Доречно зазначити, що розроблюваний товар матиме захист від копіювання за рахунок захисту інтелектуальної власності.

Таблиця 4.18 — Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Складові та сутність
1. Товар за задумом	Опис базової потреби споживача та її основної вигоди
2. Товар у реальному виконанні	Властивості чи характеристики
	Підвищення ефективності вжитку апаратури
	Новий підхід до застосування радіометричного методу Зниження вартості процедури виміру пропускної здатності Спрощене використання апаратури для визначення пропускної здатності радіоканалу
3. Товар із підкріпленням	До продажу — рівень виконання розробки
	Після продажу — ряд методів та алгоритмів
За рахунок чого товар буде захищено від копіювання: інтелектуальна власність	

Далі визначаються цінові межі, якими потрібно керуватися при визначенні ціни на майбутній товар, враховуючи ціни на пристрої-аналоги та товари-субститути, а також дохід групи потенційних покупців.

Таблиця 4.19 — Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар чи послугу
1	10000 ум. од.	9000 ум. од.	20000 ум. од.	8000–10000 ум. од.

Формуємо оптимальну систему збуту (табл. 4.20).

Таблиця 4.20 — Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівель	Функції збуту	Глибина ка-	Оптимальна
-------	----------------------	---------------	-------------	------------

	<b>льної поведінки</b>	<b>постачальника</b>	<b>налу збуту</b>	<b>система збу- ту</b>
1	Мінімальна кількість посередників	Організація широкої мережі збуту	3	Непряма

Останнім складовою є розробка концепції маркетингових комунікацій, що визначає специфіку поведінки клієнтів (табл. 4.21).

Таблиця 4.21 — Концепція маркетингових комунікацій

<b>№ п/п</b>	<b>Специфіка поведінки цільових клієнтів</b>	<b>Канали комунікацій, якими користуються клієнти</b>	<b>Ключові позиції, обрані для позиціонування</b>	<b>Завдання рекламного повідомлення</b>	<b>Концепція рекламного звернення</b>
1	2	3	4	5	6
1	Спрощення процесу дослідження інтегральних характеристик систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів	Технічна сфера	Менший вхідний поріг по знанням і вмінням для роботи з дослідження радіоканалу зв'язку	Донести переваги до потенційних клієнтів	Основна ідея стартап-проєкту

1	2	3	4	5	6
	Обладнання для дослідження інтегральних характеристик систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів з меншою собівартістю	Технічна сфера	Зниження вартості використання обладнання для дослідження інтегральних характеристик систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів	Донести переваги до потенційних клієнтів	
3	Вдосконалення існуючого радіометричного підходу для визначення рівня шумів у радіоканалі	Технічна сфера	Новий підхід до застосування радіометричного методу для дослідження радіо каналу	Донести переваги до потенційних клієнтів	

В цьому розділі виконаний аналіз та розробка бізнес-проекту до розробки стартап-проекту. Варто відзначити про те, що найбільший негативний вплив на розвиток стартап-проекту виникає через ринкове середовище. Це зменшує приріст в галузі, поскладнює вихід на ринок більш слабких виробників, а також спонукає прихід на ринок інтернаціональних компаній, що збільшує конкуренцію на ринку України.

Також було визначено, що в разі випадку падіння прибутковості внаслідок скорочення попиту це буде найбільшою загрозою для розробки стартап-проекту.



## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Враховуючи той факт, що виконання даної дипломної роботи потребує використання засобів обчислювальної техніки, то в цьому розділі запропоновані технічні рішення та організаційні заходи, що пов'язані із створенням безпечних умов праці при використанні персональної електронно-обчислювальної машини (ПЕОМ). Також необхідно приділити особливу увагу питанням електро та пожежній безпеці.

З урахуванням вимог ДСанПіН 3.3.2.007-98 та визначення основних потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів при виконанні науково-дослідної роботи, необхідно визначити небезпечні і шкідливі фактори, які впливають на користувачів, ВДТ (візуально дисплейний термінал) ПЕОМ, при експлуатації. Дослідити ці фактори, розглянути їхній вплив, принципи їх нормування і способи запобігання їхнього шкідливого впливу на людину [47].

У цьому розділі запропоновано технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії.

### 5.1 Визначення основних потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів при виконанні науково-дослідної роботи

Основними шкідливими та небезпечними виробничими факторами, які пов'язані з використанням ПЕОМ, є такі фактори:

- електромагнітне випромінювання радіочастотного діапазону;
- наявність іонізуючого рентгенівське випромінювання (НРВ);
- випромінювання оптичного діапазону (ультрафіолетове, інфрачервоне і випромінювання видимого діапазону);
- електростатичне поле;
- можливість ураження електричним струмом;
- недостатня освітленість робочої зони;

- підвищений рівень шуму;
- значна напруга зорових органів і пов'язане з цим перевтомлення користувача ПЕОМ;
- значне навантаження на пальці і кисті рук, що при відсутності профілактики і медичного контролю, може викликати професійні захворювання;
- тривале перебування в одному й тому ж самому положенні сидячи, що викликає застійні явища в організмі людини;
- відблиски на екрані монітора
- можливість виникнення НС.

## **5.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії**

### **5.2.1 Електробезпека**

Все наявне електроустаткування в робочому приміщенні можна віднести до I (системні блоки) та II (ВДТ) класів щодо електрозахисту (ДСТУ ІЕС 61140:2015).

Робоче приміщення по рівню безпеки ураження людей електричним струмом згідно ПУЕ можна віднести, до помешкань без підвищеної небезпеки, тому що:

- відносна вологість повітря не перевищує 75%;
- матеріал підлоги (паркет) є діелектриком;
- температура повітря не досягає значень, більших 30 °С;
- відсутня можливість одночасного доторку людини до з'єднаних з землею металоконструкцій будівлі, технологічних апаратів, механізмів і т.п., з одного боку, і до металевих корпусів електроустаткування - з іншого боку;
- відсутні хімічно агресивні середовища.

Електромережа трьохфазна з глухозаземленою нейтраллю, із зануленням і повторним заземленням нульового дроту відповідно до вимог ПУЕ (правил улаштування електроустановок). Мережа обладнана автоматом струмового захисту, розрахованого на струм 12 А. Час спрацювання автомату 0,1 с.

Для того, щоб не допустити ураження людини електричним струмом при виникненні аварійних ситуацій необхідно заземлити все обладнання, що працює від мережі 220 В, 50 Гц. Опір нульового дроту повинен бути таким, щоб при замиканні на корпус або нульовий дріт; виникав струм короткого замикання, сила якого повинна перевищувати в 1,4 рази номінальний струм спрацювання автомата струмового захисту (при струмі короткого замикання менше 100 А).

$$I_{\text{кз}} = \frac{U_{\phi}}{R_0 + R_{\phi} + (Z_T/3)}, \quad (4.1)$$

де  $U_{\phi}$  — напруга фази мережі;

$R_0$  — опір нульового дроту на ділянці від фазового трансформатора до розетки «Вхід мережі» ( $\sim 3$  Ом);

$R_{\phi}$  — опір фазового дроту на тій же ділянці ( $\sim 3$  Ом);

$Z_T/3$  — еквівалентний опір трансформатора ( $\sim 0,12$  Ом);

Виконаємо розрахунок струму короткого замкнення при аварійному режимі роботи згідно (4.1)

$$I_{\text{кз}} = \frac{220}{3+3+0,12} = 30,89 \text{ А}$$

Визначимо коефіцієнт кратності струму короткого замкнення до мінімального значення струму спрацювання автоматики.

$$k = \frac{I_{\text{кз}}}{I_{\text{авт}}} = \frac{30,89}{12} = 2,57$$

Тобто струм короткого замкнення при виникненні аварійної ситуації в 2,57 рази перевищує номінальний струм спрацювання автомату, що задовольняє встановленим нормам  $K > 1,4$  ( $I_{\text{кз}} < 100$  А).

Опір заземлюючих пристроїв не перевищує значень встановлених ПУЕ-2017.

Виконано всі необхідні заходи щодо електробезпеки відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.21-98 Додаткових заходів по електробезпеці впроваджувати не потрібно.

### 5.2.2 Відповідність параметрів робочого приміщення діючим санітарним нормам

Робоче приміщення має наступні параметри: висота — 3,5 м, ширина — 10 м, довжина — 6 м.

У лабораторії може працювати одночасно 5 чоловік. Меблів у робочому приміщенні розміщені так щоб не загроможувати проходи, ширина проходу більше 1 м.

Загальна площа приміщення, займана шафами:

$$S_1 = 10 \text{ м}^2, \text{ а відповідний об'єм: } V_1 = 18 \text{ м}^3.$$

Сумарна площа, що відведена столам, включаючи стелажі з полками і стільцями складає :

$$S_2 = (1,4 \cdot 0,7) \cdot 5 + (1,3 \cdot 0,6) \cdot 4 + (0,6 \cdot 0,5) \cdot 5 = 9,52 \text{ м}^2,$$

займаний ними об'єм складає:

$$V_2 = (1,4 \cdot 0,7) \cdot 5 \cdot 0,6 + (1,3 \cdot 0,6) \cdot 4 \cdot 0,6 + (0,6 \cdot 0,5) \cdot 5 \cdot 0,5 = 5,562 \text{ м}^3$$

Тоді загальний об'єм і площа меблів, що знаходяться в робочому приміщенні, буде:

$$S_{\text{заг}} = S_1 + S_2 = 10 + 9,52 = 19,52 \text{ м}^2$$

$$V_{\text{заг}} = V_1 + V_2 = 18 + 5,562 = 23,562 \text{ м}^3$$

Об'єм і площа вільного простору, що приходить на одного працівника в приміщенні згідно формул (9.1) та (9.2):

$$S_{\text{на1}} = \frac{S_{\text{пов}} - S_{\text{заг}}}{5}, \quad (4.2)$$

де  $S_{\text{на1}}$  — площа на одну людину,

$S_{\text{пов}}$  — повна площа приміщення,

$S_{\text{заг}}$  — загальна зайнята площа приміщення.

$$S_{\text{на1}} = \frac{10 \cdot 6 - 19,52}{5} = 8,096 \text{ м}^2,$$

$$V_{\text{на1}} = \frac{V_{\text{пов}} - V_{\text{заг}}}{6}, \quad (4.3)$$

де  $V_{\text{на1}}$  — об'єм на одну людину,

$V_{\text{пов}}$  — повний об'єм приміщення,

$V_{\text{заг}}$  — загальна зайнятий об'єм приміщення.

$$V_{\text{на1}} = \frac{10 \cdot 6 \cdot 3,5 - 23,562}{5} = 37,28 \text{ м}^3$$

По основних параметрах досліджуване приміщення відповідає санітарним нормам ДСанПіН 3.3.2.007-98, що наведені в табл. 1.1.

Таблиця 4.1 — Санітарні норми приміщення

Нормована величина	Приміщення з ПЕОМ
Площа лабораторного приміщення на 1 чоловіка	$\geq 6 \text{ м}^2$
Об'єм приміщення лабораторії на 1 чоловіка	$\geq 20 \text{ м}^3$
Висота приміщення від підлоги до виступаючих поверхонь перекриття	3 м

### 5.2.3 Мікроклімат робочої зони

Згідно до ДСН 3.3.6.042-99 установлені параметри мікроклімату робочої зони, дотримання, яких забезпечує нормальні умови праці персоналу.

Роботу в процесі розробки, можна віднести до категорії 1а - легкі фізичні роботи (роботи, виконувані сидячи і не потребує фізичного напруження), при яких енерговитрати людини не перевищують 138 Вт (до 120 ккал/ч).

Під час роботи ВДТ при наявності радіовипромінювань високих частот, сильних електричних полів, а також НРР в повітрі закритих помешкань створюється підвищене утримання позитивних і негативних легких іонів.

Експериментально встановлено, що аероіони є найбільш чутливим фізичним індикатором забруднення повітря, а головне — впливають на здоров'я людини. Негативні іони діють сприятливо на організм, підвищуючи його опір, у той час як позитивні іони гальмують життєдіяльність організму і сприяють розвитку психічних захворювань.

В залежності від типів ВДТ, застосовуваних у них електроізоляційних матеріалів, режиму роботи, очищення повітря, яке подається, а також від кількості працівників в приміщенні; відбуваються виділення й утворення різноманітних газів і парів, що призводить до зміни хімічного і кількісного складу повітря.

Повітря робочого приміщення повинне бути очищене від забруднень, у тому числі від пилуки і мікроорганізмів. Патогенної мікрофлори не повинно бути.

В робочому приміщенні параметри мікроклімату повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6.042-99 і дотримуватися оптимальні норми:

у холодні періоди року температура повітря, швидкість його прямування і відносна вологість повітря повинні відповідно складати: 22–24°C, 0,1 м/с, 60–40%; температура повітря може коливатися в межах від 21 до 25°C при зберіганні інших параметрів мікроклімату в зазначених вище межах;

у теплі періоди року температура повітря, його рухливість і відносна вологість, повинні відповідно складати: 23–25 °C, 0,1–0,2 м/с, 60–40%; температура повітря може коливатися від 22 до 26°C при зберіганні інших параметрів мікроклімату в зазначених вище межах.

#### **5.2.4 Освітлення робочого місця**

На роботі потрібно забезпечити швидке зчитування інформації в зоні найкращого бачення. Для захисту від прямих сонячних променів, які ство-

рюють прямі та відбиті відблиски з поверхні екранів ПК передбачаються сонцезахисні жалюзі.

Згідно до ДБН В.2.5-28-2018 штучне освітлення робочого місця, обладнаного ПК, здійснюється системою загального рівномірного освітлення. Як джерело штучного освітлення мають застосовуватись люмінесцентні лампи ЛБ.

Вимоги до освітлення приміщень та робочих місць під час роботи з ПЕОМ:

- освітленість на робочому місці повинна відповідати характеру зорової роботи, який визначається трьома параметрами: об'єктом розрізнення - найменшим розміром об'єкта, що розглядається на моніторі ПЕОМ; фоном, який характеризується коефіцієнтом відбиття; контрастом об'єкта і фону;
- необхідно забезпечити достатньо рівномірне розподілення яскравості на робочій поверхні монітора, а також в межах навколишнього простору;

на робочій поверхні повинні бути відсутні різкі тіні;

- в полі зору не повинно бути відблисків (підвищеної яскравості поверхонь, які світяться та викликають осліплення);
- величина освітленості повинна бути постійною під час роботи;

Штучне освітлення робочих місць користувачів ВДТ ПЕОМ, а саме відсутність у спектрі ламп денного світла й ламп накаливання біологічно активної ультрафіолетової складової при тривалому впливі може призвести до ультрафіолетової недостатності, при якій знижуються бактерицидні властивості шкіри та імунітет.

Істотне значення для збереження тривалої працездатності, підвищення продуктивності праці має забезпечення норм освітленості на робочому місці. Величина освітленості регламентується нормами ДСанПіН 3.3.2.007-98. Ро-

боче приміщення, що розглядається в даному розділі належить до I групи – приміщення. Із розрядом зорової роботи — **Б-2**.

Нормування штучного освітлення також здійснюється згідно ДБН В.2.5- 28-2018.

Загальне штучне освітлення на робочому місці забезпечується за допомогою світильників з лампами денного світла типу ЛБ-40, потужністю 40 Вт, а місцеве за допомогою настільних світильників з лампами накаливання потужністю 75 Вт.

Для розрахунку загального штучного освітлення в робочому приміщенні використовується метод коефіцієнта використання світлового потоку, призначеного для розрахунку загального рівномірного освітлення горизонтальних поверхонь, при відсутності предметів, що затемнюють. При цьому в розрахунках враховується пряме та відбите світло. Фактичне освітлення робочих місць штучним освітленням:

$$E_{\Phi} = \frac{N \cdot n \cdot \Phi}{S \cdot K \cdot Z} \cdot \eta, \quad (4.4)$$

де  $N$  — кількість світильників, шт,  $N = 10$ ;

$n$  — кількість ламп у світильнику, шт,  $n=2$ ;

$\eta$  — коефіцієнт використання світлового потоку,  $\eta=0,5$ ;

$\Phi$  — світловий потік світильника,  $\Phi=3120$  Лм;

$S$  — площа приміщення,  $S=60$  м<sup>2</sup> ;

$K$  — коефіцієнт запасу,  $K=1,5$ ;

$Z$  — коефіцієнт нерівномірності висвітлення,  $Z=0,8$ ;

$E$  — нормоване значення світлового потоку лампи, лм.

Для визначення коефіцієнта використання світлового потоку визначається індекс приміщення  $i$ , коефіцієнт відбиття стелі  $\rho_p$ , стін  $\rho_s$ , робочої поверхні  $\rho_r$ . Коефіцієнт використання світлового потоку визначається:

$$i = \frac{l \cdot b}{h \cdot (1+b)} \quad (4.5)$$

де  $l$  — довжина приміщення, м,  $l = 6$ ,



$b$  — ширина приміщення, м,  $b= 10$ ,

$h$  — висота підвісу світильників, м,  $h=2,5$ .

$$i = \frac{10 \cdot 6}{2,5 \cdot (1 + 6)} = 3,42$$

Коефіцієнт відбиття побіленої стелі  $\rho_{\text{п}}=0,7$ , побілених стін при незавішених вікнах  $\rho_{\text{с}}=0,5$ , середніх робочих поверхонь  $\rho_{\text{р}}=0,3$ .

Для визначення коефіцієнта використання світлового потоку необхідно знати, що використовуються лампи ЛБ-40 серії УСП5-4x40 (чотири лампи з розсіювачами). Тоді на підставі вище викладеного знаходиться коефіцієнт, використовуючи табличні дані ДБН В.2.5-28-2006, який  $\eta=0,44$ .

Фактичне освітлення робочих місць штучним освітленням становить:

$$E_{\text{ф}} = \frac{10 \cdot 2 \cdot 3120}{60 \cdot 1,5 \cdot 0,8} \cdot 0,44 = 381,3 \text{ [Лк]}$$

Норма загального освітлення робочих місць для розряду зорової роботи Шв, складає 300 Лк. Так як  $E_{\text{ф}}$  (381,3Лк) більше  $E_{\text{необ.}}$  (300 Лк), то ДБН В.2.5- 28- 2006 виконуються.

### 5.2.5 *Заходи щодо нормалізації умов праці*

Відповідно до ДСанПіН 3.3.2.007-98 площа екрана монітора повинна бути виставлена перпендикулярно нормалі лінії зору. Також потрібно передбачена можливість переміщення монітора навколо вертикальної осі має бути в межах  $\pm 30^\circ$  (справа наліво) та нахилу вперед до  $85^\circ$  і назад до  $105^\circ$  з фіксацією в цьому положенні. Для найбільш зручного користування клавіатурою, вона має бути розміщена на поверхні столу на відстані 100–300 мм від краю поверхні робочого простору столу. Кут нахилу клавіатури до столу має бути в межах від  $5$  до  $15^\circ$  так, щоб зап'ястя на долонях рук розташовувалися горизонтально до площини столу. Робочі місця з ПЕОМ мають бути розташовані від стіни з вікнами на відстані не менше 1,5 м, від інших стін — на відстані 1 м, відстань між собою - не менше ніж 1,5 м. Причому так, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва.

Тривалість регламентованих перерв під час роботи з ПЕОМ повинна становити 15 хвилин через кожну годину роботи.

Для зниження нервово-емоційного напруження, втомленості зорового аналізатора, для поліпшення мозкового кровообігу і запобігання втомі доцільно деякі перерви використовувати для виконання комплексу вправ, які передбачені ДСанПіН 3.3.2.007-98.

Також згідно з ДСанПіН 3.3.2.007-98 шкідливими та небезпечними виробничими факторами, які пов'язані з використанням ПЕОМ є наступні фактори:

- механічні шуми, які пов'язані з роботою принтера і вентиляційної системи комп'ютера;
- значна напруга зорових органів і пов'язане з цим перевтомлення користувача ПЕОМ;
- можливість ураження електричним струмом.
- значне навантаження на пальці і кисті рук, що при відсутності профілактики і медичного контролю, може викликати професійні захворювання,
- тривале перебування в одному й тому ж самому положенні сидячи, що викликає застійні явища в організмі людини.

Будь-яка поза при тривалій фіксації шкідлива для опорно-рухового апарату, веде до застою крові органів. Особливо це проявляється при нефізіологічному становищі різних частин тіла, і довго повторюваних одноманітних рухах. Небезпека здоров'ю представляє як втома тих груп м'язів, що ці рухи виконують, а й психологічна фіксація ними (освіту стійких осередків порушення ЦНС з компенсаторним гальмуванням інших її ділянок). Хоча найбільш шкідливі саме повторювані одноманітні навантаження [49].

Довготривала робота може приводити до порушення функцій зорових аналізаторів, кістково – м'язової системи і порушень, зв'язаних зі стресовими ситуаціями і нервово – емоційною напругою при роботі. Комп'ютерна техні-

ка, яка встановлена в робочому приміщенні, є сучасною технікою, виконаною з урахуванням багатьох вимог охорони праці. Зокрема, ВДТ ПЕОМ мають тип LR/NI. Тип (Low Radiation) має низький рівень випромінювання екрана монітора, а тип NI (Non - Interlaced) має рядкове розгорнення, що сприяє меншому стомленню очей при роботі з відео монітором.

ВДТ ПЕОМ є пристроєм для візуального зображення інформації, збереженої електронним засобом. Він складається з дисплейного екрана, системного блока обробки виведеної інформації, і клавіатури.

### 5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях

Безпека у надзвичайних ситуаціях регламентується ПЛАС. Одними з основних складових ПЛАС є розробка технічних рішень та організаційних заходів щодо оповіщення, евакуації та дій виробничого персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації, а також визначення основних заходів з пожежної безпеки.

#### 5.3.1 *Вимоги щодо організації ефективної роботи систем оповіщення персоналу у разі виникнення небезпечної ситуації*

Оповіщення виробничого персоналу у разі виникнення НС, наприклад при пожежі, здійснюється відповідно до вимог НАПБ А.01.003–2009. Необхідність обладнання виробничих приміщень певним типом СО визначається згідно з додатком Е до ДБН В.1.1-7-2016 "Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва". При обладнанні виробничих будівель системою оповіщення, їх необхідно поділяти на зони оповіщення з урахуванням об'ємно – планувальних рішень будинків, шляхів евакуації, поділення на проти-пожежні відсіки тощо, а також з урахуванням вимог, що наведені в примітці 1 таблиці Е.1 додатка Е до ДБН В.1.1-7-2016. Розміри зон оповіщення, черговість оповіщення та час початку оповіщення людей в окремих зонах визначаються, виходячи з умов забезпечення безпечної та своєчасної евакуації лю-

дей у разі виникнення НС. Оповіщення про НС та управління евакуацією людей здійснюється одним з наступних способів або їх комбінацією:

- поданням звукових і (або) світлових сигналів в усі виробничі приміщення будівлі з постійним або тимчасовим перебуванням людей;
- трансляцією текстів про необхідність евакуації, шляхи евакуації, напрямки руху й інші дії, спрямовані на забезпечення безпеки людей;
- трансляцією спеціально розроблених текстів, спрямованих на запобігання паніці й іншим явищам, що ускладнюють евакуацію;
- розміщенням знаків безпеки на шляхах евакуації згідно з ДСТУ ISO 6309;
- ввімкненням евакуаційних знаків "Вихід";
- ввімкненням евакуаційного освітлення та світлових покажчиків напрямку евакуації;
- дистанційним відкриванням дверей евакуаційних виходів;
- зв'язком оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста) із зонами оповіщення.

Як правило, СО вмикається автоматично від сигналу про пожежу, який формується системою пожежної сигналізації або системою пожежогасіння. Також з приміщення оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста) слід передбачати можливість запуску СО вручну, що забезпечує надійну роботу СО не тільки при пожежі, а і у разі виникнення будь-якої іншої НС. Повинен бути забезпечений розподіл пріоритетів щодо повідомлень для виробничого персоналу у такій послідовності:

I (найвищий) – повідомлення оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста) під час пожежі, або у разі виникнення будь-якої іншої НС;

II – повідомлення, які записані на будь-якому носії та вмикаються автоматично від спрацювання систем пожежної автоматики, або за сигналом оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста);

III – службові повідомлення, що не стосуються організації та управління евакуацією людей. У разі одночасного транслявання декількох повідомлень, що мають різні пріоритети, повідомлення, які мають нижчий пріоритет, повинні автоматично блокуватись. СО повинна мати можливість одночасно передавати різні мовленнєві повідомлення в різні зони оповіщення. Згідно з вимогами ДБН В.1.1-7-2016 необхідно забезпечити можливість прямої трансляції мовленнєвого оповіщення та керівних команд через мікрофон для оперативного реагування в разі зміни обставин або порушення нормальних умов евакуації виробничого персоналу. В разі виникнення пожежі у багатоповерхових виробничих будівлях, СО має спрацьовувати у такій послідовності:

- в першу чергу, здійснюється оповіщення людей про пожежу на поверсі, де виникла пожежа;
- потім оповіщення людей про пожежу на поверхах, що розташовані вище поверху, де виникла пожежа;
- в останню чергу, оповіщення людей про пожежу на поверхах, що розташовані нижче поверху, де виникла пожежа.

Затримку часу оповіщення про НС/пожежу для різних поверхів будинку необхідно передбачати з урахуванням злиття потоків людей на шляхах евакуації відповідно до розрахунків по ГОСТ 12.1.004 "ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования". У багатоповерхових виробничих будівлях, які поділені на протипожежні відсіки по вертикалі, СО повинна вмикатися одразу для всього протипожежного відсіку, де виникла пожежа. Затримку часу оповіщення про НС/пожежу для інших вертикальних протипожежних відсіків будинку слід передбачати з урахуванням злиття потоків людей на шляхах евакуації відповідно до вимог додатка 2 згідно ГОСТ 12.1.004.

### **5.3.2 *Обов'язки та дії персоналу уразі виникнення надзвичайної ситуації***

У разі виявлення ознак НС працівник повинен:

- негайно повідомити про це органи Державної служби з надзвичайних ситуацій (ДСНС), вказати при цьому адресу, кількість поверхів, місце виникнення пожежі, наявність людей, а також своє прізвище;
- повідомити про НС керівника, адміністрацію, пожежну охорону підприємства;
- організувати оповіщення людей про НС;
- вжити заходів щодо евакуації людей та матеріальних цінностей;
- вжити заходів щодо ліквідації наслідків НС з використанням наявних засобів. Керівник та пожежна охорона установи, яким повідомлено про виникнення НС, повинні:
- перевірити, чи викликані підрозділи ДСНС;
- вимкнути у разі необхідності струмоприймачі та вентиляцію;
- у разі загрози життю людей негайно організувати їх евакуацію та порятунок, вивести за межі небезпечної зони всіх працівників, які не беруть участь у ліквідації наслідків НС;
- перевірити здійснення оповіщення людей про НС;
- забезпечити дотримання техніки безпеки працівниками, які беруть участь у ліквідації наслідків НС;
- організувати зустріч підрозділів ДСНС, надати їм допомогу у локалізації та ліквідації НС. Після прибуття підрозділів ДСНС повинен бути забезпечений безперешкодний доступ їх до місця, де виникла НС.

### 5.3.3 Пожежна безпека

Відповідно до ДСТУ Б.В.1.1-36-2016 робоче приміщення відноситься до категорії В по вибухопожежній небезпеці. Відповідно до ПУЕ клас робочих зон приміщення по пожежонебезпеці — **П-Па**.

Можливими причинами пожежі в приміщенні є несправність електроустаткування, коротке замикання проводки, і порушення протипожежного режиму (використання побутових нагрівальних приладів, паління).

У зв'язку з цим, відповідно до вимог ПУЕ та ПБЕ, необхідно передбачити наступні заходи:

1. Ретельну ізоляцію всіх струмоведучих провідників до робочих місць, періодичний огляд та перевірку ізоляції;
2. Суворе дотримання норм протипожежної безпеки на робочих місцях.
3. Відповідні організаційні заходи (заборона паління, інструктаж).

Згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 (Системи протипожежного захисту) робоче приміщення необхідно оснастити системою автоматичної пожежної сигналізації типу «ДТЛ». Будинок має три евакуаційні виходи: через головний хід і два бокові евакуаційні виходи. Шляхи евакуації відповідають установленим нормам. Двері відкриваються назовні. Коридор веде до двох сходових кліток, одна з яких виходить безпосередньо на вулицю, а друга має вихід на вулицю через вестибюль і головний вхід. Сходова клітка виконана з непальних матеріалів. Сходи мають природне бічне освітлення і штучне евакуаційне освітлення. Сходові площадки ширше коридорів. Значення основних параметрів шляхів евакуації приведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Характеристики і норми евакуаційних виходів

Параметр	Фактичне значення, м	Норма, м
Висота дверних прорізів	2,0	$\geq 2$
Ширина дверних прорізів	0,8	$\geq 0,8$
Ширина проходу для евакуації	$> 1,5$	$\geq 1$
Ширина коридору	2	$\geq 2$
Число виходів з коридору	2	$\geq 2$
Ширина сходового маршу	1,2	$\geq 1$
Висота поруччя сходів	1	$\geq 0,9$

Для гасіння пожежі в робочому приміщенні (клас пожежі „Е” — наявність електрообладнання) використовуються вогнегасники ВВК-2 (4 шт.) відповідно до ДСТУ 3675-98, ISO 3941077 та НАПБ Б.01.008-2004. Додатково в коридорі розташовані вогнегасники ВХП-10.

Дотримано усі вимоги ДБН В.1.1.-7-2016 по вогнестійкості будинку і ширині евакуаційних проходів і виходів із приміщень назовні [50].

У приміщенні є план евакуації. Мінімальний час евакуації в разі виникнення пожежі відповідає існуючим вимогам.

У приміщенні виконуються усі вимоги по пожежній безпеці відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2004 «Правила пожежної безпеки в Україні».



## ВИСНОВКИ

1. За результатами проведеного аналітичного огляду була визначена можливість використання багатостанційної системи та створення її моделі для мережі 5-го покоління, що дозволило проаналізувати інтегральні характеристики.

2. Виходячи з результатів аналізу інтегральних характеристик та завад у каналі зв'язку було визначено, що найбільше впливають на його характеристики (пропускну здатність  $\sim 4$  Гб/с) внутрішньосистемна та зовнішня завади. Доведено, що їх спектр подібний до спектру шумових сигналів.

3. Для здешевлення обрахунків, запропоновано використання радіометрів для аналізу інтегральних характеристик. Це зменшить вартість в  $\sim 10$  разів.

4. Враховуючи шумоподібний характер спектра інформаційних сигналів та завад в радіомережах доведено, що такий спосіб можна застосовувати для визначення обраних інтегральних характеристик.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Рэндалл Н. Беспроводные решения / Рэндалл Н., Сосински Б. пер. с англ. — М.: Техносфера, 2007. — С. 126-129.
2. Столлингс В. Беспроводные линии связи и сети . / Столлингс В. пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. — С. 81-84.
3. Алексеев В. Высокоскоростные сети мобильной связи поколения 3G [Текст] / В. Алексеев // Мобильная телефония. — 2013. — №1. — С. 4-6.
4. Вишнеvский В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / Вишнеvский В., Ляхов А., Портной С., Шахнович И. — М.: ЭкоТрендз, 2005. — С. 321-327.
5. Гейер Д. Беспроводные сети. Первый шаг / Гейер Д. пер. с англ. — М.: Вильямс, 2012. — С. 45-47.
6. Колыбельников А.И. Обзор технологий беспроводных сетей / А.И. Колыбельников // Труды МФТИ. — 2012 — Т. 4. — № 2. — С. 3-9.
7. Сукачев Э.А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами: учеб. пособ. / Э.А. Сукачев — [3-е изд., перераб. и дополн.]. — Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2013. — 256 с.
8. Варгузин В.А. Методы повышения энергетической и спектральной эффективности цифровой радиосвязи: учеб. пособие / В.А.Варгузин, И.А.Цикин. — СПб.: БХВ-Петербург, 2013. — 352 с.
9. Банкет В. Л. Методы передачи информации в системах беспроводного доступа к телекоммуникационным сетям нового поколения / В. Л. Банкет — Одесса: ОНАС, 2013. — 178 с.
10. Столлингс В. Криптография и защита сетей: принципы и практика. 2-е издание / Вильям Столлингс. — М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. — 672 с.
11. Scott, Allan W. RF measurements for cellular phones and wireless data systems / Allan W. Scott, Rex Frobenius. — Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2008. — 525 p.

11. Carvalho, Nuno Borges. Microwave and wireless measurement techniques /Nuno Borges Carvalho and Dominique Schreurs. — Cambridge University Press, 2013. — 287 p.

12. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов. 4-е изд. / В.Г.Олифер, Н.А.Олифер. — СПб: Питер, 2015. — 944 с.

13. Анализаторы спектра и сигналов [Электронный ресурс] / Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG 2000-2018. — Rohde&Schwarz, 2018. — Режим доступа: [https://www.rohde-schwarz.com/ru/products/test-and-measurement/signal-spectrum-analyzers/pg\\_overview\\_63665.html](https://www.rohde-schwarz.com/ru/products/test-and-measurement/signal-spectrum-analyzers/pg_overview_63665.html)

14. Spectrum Analyzers (Signal Analyzers) [Электронный ресурс] / Keysight Technologies. — Keysight Technologies, 2018. — Режим доступа: <https://www.keysight.com/en/pcx-x2015002/spectrum-analyzers-signal-analyzers?cc=US&lc=eng>.

15. Тестирование устройств беспроводной связи [Электронный ресурс] / National Instruments Corp. — National Instruments Corporation, 2018 — Режим доступа: <http://www.ni.com/ru-ru/innovations/wireless/wireless-device-test.html>.

16. Векторный анализатор сигнала PXI [Электронный ресурс] / National Instruments Corp. — National Instruments Corporation, 2018. — Режим доступа: <http://www.ni.com/ru-ru/support/model.pxie-5668.html>.

17. Pietikainen K. IEEE 802.11g tolerance to narrowband jamming / Kari Pietikainen, Aki Silvennoinen, Michael Hall, Sven-Gustav Häggman // MILCOM 2005 — IEEE Military Communications Conference. — 2005. — Vol. 24. — No. 1, October. — pp.3002-3004.

18. Пат. 2344546, Российская Федерация, МПК Н 04 В 7/02. Адаптация скорости передачи данных в OFDM-системе при наличии помех [Текст] / Гончаров В.Е.; заявитель и патентообладатель Корпорация «Самсунг электроникс Ко., Лтд.». — № 2000131736/09; заявл. 18.04.07; опубл. 20.01.09, Бюл. № 23 — 3 с.

19. Пат. України № 90655 МПК Н 04 J 11/00. Оцінка шуму і взаємних перешкод у системі OFDM / Сутівонг Арак, Наджиб Айман Фав-Зі, Агравал Авніш; заявник і патентовласник Корпорація «Квелкомм Інкорпорейтед» — № 200511841; заявл. 14.05.04; опубл. 25.05.10, Бюл. № 10 — 15 с.

20. Пат. України № 88328 МПК Н 04 L 27/26, Н 04 В 1/10. Оцінка дисперсії шуму в безпроводному зв'язку для об'єднання рознесення і масштабування відповідно до логарифмічної правдоподібності / Намгоонг Дзуне, Сюй Хао, Блек Пітер Дж., Джаяраман Срікант; заявник і патентовласник Корпорація «Квелкомм Інкорпорейтед» — № 200704233; заявл. 16.09.05; опубл. 12.10.09, Бюл. № 19 — 16 с.

21. Назаров Л.Е. Оценка мощности интермодуляционных помех при предельном ограничении огибающей сигналов с ортогональным частотным мультиплексированием [Електронний ресурс] / Л.Е.Назаров, А.С.Зудилин // Журнал радиоэлектроники. — 2013. — № 6. — Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/jun13/1/text.pdf>.

22. Пат. України №85830 МПК Н 04 В 7/08, Н 04 В 7/06. Оцінка каналу та просторова обробка для TDD MIMO систем / Кетчум Джон У., Уоллейс Марк, Уолтон Дж. Родні, Говард Стівен Дж.; заявник і патентовласник Корпорація «Квелкомм Інкорпорейтед» — № 200504942; заявл. 24.10.03; опубл. 10.03.09, Бюл. № 5 — 18 с.

23. Шарков Е. А. Радиотепловое дистанционное зондирование Земли: физические основы : в 2 т. / Е. А. Шарков. Т. 1.— М. : ИКИ РАН, 2014. — 544 с.

24. Skou N. Microwave radiometer systems: design and analysis / Niels Skou, David Le Vine. — [2nd ed.]. — Boston-London: Artech House, 2006. — 227 p.

25. Скрипник Ю.О. Модуляційні радіометричні пристрої та системи НВЧ-діапазону: навч. посіб. / Ю.О. Скрипник, В.П. Манойлов, О.П. Яненко; за ред. В.П. Манойлова. — Житомир : ЖІТІ, 2001. — 374 с.

26. Микроволновая радиометрия физических и биологических объектов / [Скрипник Ю. А., Яненко А. Ф., Манойлов В. Ф. и др.]; под общ. ред. Ю. А. Скрипника. — Житомир : Вольт, 2003. — 408 с.

27. Есепкина, Н.А. Радиотелескопы и радиометры / Н.А. Есепкина, Д.В. Корольков, Ю.Н. Парийский.— М.: Наука, 1973. — 416с.

28. Матричные радиометрические корреляционно-экстремальные системы навигации летательных аппаратов / [В.И.Антюфеев, В.Н.Быков, А.М.Гричанюк и др.]. — Х. : Изд-во ООО «Щедрая усадьба плюс», 2014. — 372 с.

29. Михайлов В.Ф. Микроволновая спутниковая аппаратура дистанционного зондирования Земли: Учеб. Пособие / Михайлов В.Ф., Брагин И.В., Брагин С.И. — СПбГУАП. СПб., 2003. — 404 с.

30. Тимановский А.Л., Пирогов Ю.А. Сверхразрешение в системах пассивного радиовидения. Монография — М.: Радиотехника, 2017. — 160 с

31. Левин М. Л., Рытов С. М. Теория равновесных тепловых флуктуаций в электродинамике. — М.: Наука. — 1967. — 308 с.

32. Алмазов-Долженко К. И. Коэффициент шума и его использование на СВЧ / К. И. Алмазов-Долженко. — М. : Научный мир, 2000. — 240 с.

33. Overview of Millimeter Wave Communications for Fifth-Generation (5G) Wireless Networks-with a focus on Propagation Models / T. S. Rappaport, Y. Xing, G. R. MacCartney et al. // IEEE Trans. on AP. — 2017. — Vol 65. — Issue 12. — P. 6213-6230.

34. Основы теории мобильной и беспроводной связи [Электронный ресурс] / siblec.ru, 2018. — Режим доступа: <http://siblec.ru/index.php?dn=html&way=bW9kL2h0bWwvY29udGVudC84c2VtLzA3NS8yLTQtNC5odG0>

35. Вишневский В. Радиорелейные линии связи в миллиметровом диапазоне: новые горизонты скоростей / В.Вишневский, С.Фролов, И.Шахнович // Электроника: НТБ. — 2011. — № 1. — С. 90-97.

36. Bit Error Rate Calculation for OFDM with Synchronization Errors in Time and Frequency Selective Fading Channels [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://confs.comelec.enst.fr/EW2007/papers/1569013648.pdf>

37. Колыбельников А.И. Обзор технологий беспроводных сетей / А.И. Колыбельников // Труды МФТИ. — 2012. — Том 4, № 2. — С. 3–29.

38. Ермолаев В.Т. Теоретические основы обработки сигналов в беспроводных системах связи: Монография / В.Т.Ермолаев, А.Г.Флакман. — Нижний Новгород: Изд-во ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2011. — 368 с.

39. Маглицкий Б.Н. Основы технологии OFDM: Учебное пособие / Б.Н.Маглицкий — СГУ телекоммуникаций и информатики, Новосибирск: 2016. — 116 с.

40. Скрынников В.Г. Повышение скорости передачи данных в сетях 11MT8/H8PA+ на основе минимизации внутрисистемных помех / В.Г. Скрынников // Электросвязь. — 2013. — № 7. — С. 37–40.

41. Скрынников В.Г. Предварительная оценка параметров сети UMTS/HSDPA / В.Г. Скрынников // Т-Comm. — 2008. — № 3. — С. 34–37.

42. Оценка уровня групповой помехи от сети 3G на РЭС правительственного назначения по результатам измерений мощности сигналов передатчиков базовых станций UMTS / [Жуков А.О., Сорокин С.А., Коченко С.Н. и др.] // Т-Comm. — 2014. — № 10. — С. 27–29.

43. Регламент радиосвязи. Том 1 Статьи / Международный союз электросвязи. — Женева : ITU, 2008. — 416 с.

43. Системы мобильной связи: Учеб. пособ. / [Ипатов В.П., Орлов В.И., Самойлов И.М. и др.]. — М.: Горячая линия-Телеком, 2003. — 272 с.

44. Исследование характеристик ofdm-систем радиосвязи с адаптивным отключением поднесущих [Электронный ресурс] — Режим доступа: [http://www.unn.ru/pages/e-library/vestnik/99999999\\_West\\_2007\\_5/8.pdf](http://www.unn.ru/pages/e-library/vestnik/99999999_West_2007_5/8.pdf)

45. Proakis John G. Contemporary Communication Systems Using MATLAB : Third Edition / John G. Proakis, Masoud Salehi, Gerhard Bauch. — Stamford: Cengage Learning, 2014. — 594 p.

46. НПАОП 0.00-1.28-10 Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин. — Замін. НПАОП 0.00-1.33-94; затв. 2010-03-26 — Київ: МОЗ України, 2010.

47. Ткачук К.Н. Охорона праці та промислова безпека / К.Н. Ткачук, В.В. Зацарний. — Київ: Лібра, 2010. — 559 с.

48. Правила улаштування електроустановок. — Київ: Мінпаливенерго України, 2010. — 776с.

49. НАПБ А.01.001-95 Правила пожежної безпеки України. — Київ: МЮ України, 2014. — 58 с.

50. ДСН, 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми. — Київ: МОЗ України, 2000. — 45 с.

51. 5G Development with MATLAB [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.mathworks.com/help/5g/>

**ДОДАТОК А  
ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

ПОГОДЖЕНО

керівник магістерської  
дисертації

ст. викл. Головня В. М.

\_\_\_\_\_  
(підпис) (дата)

ЗАТВЕРДЖЕНО

завідувач кафедри  
радіоконструювання та виробництва  
радіоапаратури

д.т.н., проф. Нелін Є. А.

\_\_\_\_\_  
(підпис) (дата)

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ  
НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ  
“МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ РАДІОЗВ’ЯЗКУ З  
КОДОВИМ РОЗДІЛЕННЯМ КАНАЛІВ”



## **1 Підстава для виконання роботи**

Підставою для виконання роботи є завдання на магістерську дисертацію.

## **2 Мета і призначення**

Мета роботи: дослідження можливості визначення інтегральних характеристик радіосистем з кодовим розділенням каналів.

Об'єкт дослідження: характеристики радіосистем з кодовим розділенням каналу.

Предмет дослідження: інтегральні характеристики в радіосистемі з кодовим розділенням каналів.

## **3 Вихідні дані для проведення роботи**

Основні джерела:

1. Rappaport T. S. Overview of millimeter wave communications for fifth-generation (5G) wireless networks-with a focus on propagation models / Rappaport T. S., Y. Xing, G. R. MacCartney et al. // IEEE Trans. on AP. – 2017. – Vol 65. – Issue 12. – pp. 6213-6230.

2. Нікітін Г. І. Застосування функцій Уолша в стільникових системах зв'язку з кодовим розділенням каналів: навч. посібник / Г. І. Нікітін // СПб. : ДУАП — 2003. — 86 с.

3. Колыбельников А. И. Обзор технологий беспроводных сетей / А. И. Колыбельников // Московский физико-технический институт (государственный университет) // МФТИ — 2012. — 27 с.

## **4 Вимоги до виконання**

1. Виконати аналітичний огляд інформаційних джерел за темою дисертації.

2. Вибрати модель поширення сигналів у радіосистемі з кодовим розділенням каналів.

3. Провести аналіз процесів створення завад різних типів у радіоканалі, оцінити їх вплив на пропускну здатність радіосистеми з кодовим розділенням каналів та визначити основні типи завад.

4. Обґрунтувати та змоделювати інтегральні характеристики радіосистем з кодовим розділенням каналів.

5. Провести комп'ютерне моделювання в середовищі MatLab (версій 2018a або 2018b).

### 5 Етапи та термін виконання

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації
1	Підбір джерел за темою дисертації	11.2018
2	Аналітичний огляд інформаційних джерел за темою дисертації	01.2019
3	Розробка ГЗ	06.2019
4	Вибір моделі поширення сигналів у каналі зв'язку з кодовим розділенням каналів та аналіз принципів утворення основних типів завад	09.2019
5	Моделювання інтегральних характеристик радіосистем з кодовим розділенням каналів та його обґрунтування	10.2019
6	Комп'ютерне моделювання енергетичного спектра завад у каналі зв'язку в середовищі MatLab	11.2019
7	Оформлення магістерської дисертації	12.2019
8	Підготовка до захисту та отримання допуску до захисту та подача роботи в ЕК	12.2019

### 6 Очікувані результати та порядок реалізації

6.1 Модель поширення сигналів у системі з кодовим розділенням каналів.

6.2 Моделювання основних інтегральних характеристик систем з кодовим розділенням каналів.

6.3 Висновки за результатами виконаної роботи.

### **7 Матеріали які подаються після закінчення дисертації**

7.1 Завдання на магістерську дисертацію.

7.2 Технічне завдання.

7.3 Пояснювальна записка.

7.4 Презентація.

### **8 Порядок приймання дисертації та її етапів**

8.1 Поетапне узгодження з керівником.

8.2 Представлення кафедри.

8.3 Попередній захист магістерської дисертації.

8.4 Захист дисертації перед екзаменаційною комісією.

### **9 Вимоги до розроблення документації**

1. ДСТУ 3008-2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання.
2. ДСТУ 3973-2000. Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Правила виконання науково-дослідних робіт Загальні положення.

### **10 Орієнтовний зміст дисертації**

1. Аналітичний огляд інформаційних джерел за темою дисертації.
2. Модель поширення сигналів у системі з кодовим розділенням каналів та аналіз процесів створення завад.
3. Метод визначення основних характеристик систем з кодовим розділенням каналів.
4. Результати експериментальної перевірки розробленого методу.

Виконавець \_\_\_\_\_

## ДОДАТОК Б ПРОГРАМНИЙ КОД MATLAB

```

SNR=1:15;
for snrdB=1:length(SNR)
s = rng('default');
numFFT = 1024;
subbandSize = 20;
numSubbands = 10;
subbandOffset = 156;
filterLen = 43;
slobeAtten = 40;
bitsPerSubCarrier = 8;
prototypeFilter = chebwin(filterLen, slobeAtten);
qamMapper = comm.RectangularQAMModulator('ModulationOrder', ...
    2^bitsPerSubCarrier, 'BitInput', true, ...
    'NormalizationMethod', 'Average power');
inpData = zeros(bitsPerSubCarrier*subbandSize, numSubbands);
txSig = complex(zeros(numFFT+filterLen-1, 1));
for bandIdx = 1:numSubbands
    inpData(:,bandIdx) = randi([0 1], bitsPerSubCarrier*subbandSize, 1);
    symbolsIn = step(qamMapper, inpData(:, bandIdx));
    offset = subbandOffset+(bandIdx-1)*subbandSize;
    symbolsInOFDM = [zeros(offset,1); symbolsIn; ...
        zeros(numFFT-offset-subbandSize, 1)];
    ifftOut = ifft(ifftshift(symbolsInOFDM));
    bandFilter = prototypeFilter.*exp( 1i*2*pi*(0:filterLen-1)/numFFT* ...
        ((bandIdx-1/2)*subbandSize+0.5+subbandOffset+numFFT/2) );
    filterOut = conv(bandFilter,ifftOut);
    txSig = txSig + filterOut;

```

```

end
symbolsIn = step (qamMapper,inpData(:));
offset = subbandOffset;
symbolsInOFDM = [zeros(offset, 1); symbolsIn;
zeros(numFFT-offset-subbandSize*numSubbands, 1)];
ifftOut = sqrt(numFFT).*ifft(fftshift(symbolsInOFDM));
rxSig = awgn(txSig, snrDB, 'measured');
yRxPadded = [rxSig; zeros(2*numFFT-numel(txSig),1)];
RxSymbols2x = fftshift(fft(yRxPadded));
RxSymbols = RxSymbols2x(1:2:end);
dataRxSymbols =
RxSymbols(subbandOffset+(1:numSubbands*subbandSize));

rxf = [prototypeFilter.*exp(1i*2*pi*0.5*(0:filterLen-1)/numFFT); ...
zeros(numFFT-filterLen,1)];
prototypeFilterFreq = fftshift(fft(rxf));
prototypeFilterInv = 1./prototypeFilterFreq(numFFT/2-
subbandSize/2+(1:subbandSize));
dataRxSymbolsMat = reshape(dataRxSymbols,subbandSize,numSubbands);
EqualizedRxSymbolsMat =
bsxfun(@times,dataRxSymbolsMat,prototypeFilterInv);
EqualizedRxSymbols = EqualizedRxSymbolsMat(:);
qamDemod = comm.RectangularQAMDemodulator('ModulationOrder', ...
2^bitsPerSubCarrier, 'BitOutput', true, 'NormalizationMethod', 'Average
power');
BER = comm.ErrorRate;
rxBits = step (qamDemod, EqualizedRxSymbols);
ber = step(BER, inpData(:), rxBits);

```

```
rng(s);

disp(['OFDM Reception, BER = ' num2str(ber(1)) ' at SNR = ' ...
      num2str(snrdB) ' dB']);
a(snrdB)=ber(1);
disp (a(snrdB));
end
semilogy (SNR,a, '--xg');
axis ([1 15 0 0.1]);
xlabel('Signal to Noise Ratio in dB');
ylabel('Bit Error Rate');
title ('OFDM - SNR vs BER');
grid on;
hold off;
```

Шнуренко І.М. РІ-81МП, 2019