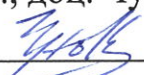


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МЕДИЦИНІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ

УДК 621.37:621.391

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри комп'ютерних
технологій у медицині та
телекомунікаціях
к.т.н., доц. Чухов В.В.


« 15 » 12 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ СИГНАЛУ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ
СТАНДАРТУ DVB-T2

за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
освітній ступінь «магістр»

Виконавець роботи
студент 2 курсу, гр.ТРМ-22-1


(дата, підпис)

Лещинський Ю.І.

Керівник роботи
к.т.н., доц.


(дата, підпис)

Андреев О.В.

Житомир
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МЕДИЦИНІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної магістерської роботи

на тему Дослідження якості сигналу цифрового телебачення стандарту
DVB-T2

Виконав: студент 2 курсу,
групи ТРМ-22-1 спеціальності
172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Лещинський Ю.І.

Керівник Андреев О.В.

Рецензент Коломієць Р.О.

Житомир
2023

«Затверджено»

Завідувач кафедри комп'ютерних
технологій у медицині та
телекомунікаціях

 Владислав ЧУХОВ
« 27 » 10 2022 р.

Завдання на кваліфікаційну магістерську роботу

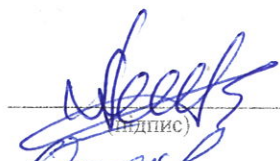
ПЕЦУНСЬКИЙ ЮРІЙ ІГОРОВИЧ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи „Дослідження якості сигналу цифрового
ТЕЛЕБАЧЕННЯ СТАНДАРТУ DVB-T2”
затверджено наказом по університету від «22» листопада 2023 р. № 649/с
2. Мета дослідження Визначення якості сигналу цифро-
вого телебачення DVB-T2 у Миколаївській області
3. Вихідні дані (характеристики об'єкта, умов дослідження та ін.
Рада - Миколаївський регіональний техні-
зичний коледж - смт Абриківка
4. Основні задачі дослідження зробити розрахунок зони
на зв'язки з сигналу у Миколаївській області
5. Термін подання роботи до захисту грудень 2022 р.
6. Дата видачі завдання « 27 » 10 2022 р.

Науковий керівник

Завдання прийняв
до виконання


(підпис)

ПЕЦУНСЬКИЙ Ю.І.
(прізвище, ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СТАНДАРТУ DVB-T2.....	5
1.1. Історія та розвиток стандарту DVB-T2.....	5
1.2. Технічні характеристики та принципи роботи DVB-T2.....	9
1.3. Порівняння DVB-T2 з іншими стандартами цифрового телебачення.....	18
РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ СИГНАЛУ	22
2.1. Огляд методів оцінки якості сигналу.....	22
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ЯКОСТІ СИГНАЛУ DVB-T2.....	28
3.1. Вплив атмосферних умов на якість сигналу цифрового телебачення стандарту DVB-T2 у Житомирському районі.....	28
3.2. Вплив фізичних перешкод на прийом сигналу цифрового телебачення стандарту DVB-T2 у Житомирському районі.....	36
3.3. Оцінка стабільності сигналу в різних умовах цифрового телебачення стандарту DVB-T2 у Житомирському районі.....	38
3.4. Розробка рекомендацій для покращення якості сигналу цифрового телебачення стандарту DVB-T2 у Житомирському районі.....	42
ВИСНОВКИ.....	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	47

ВСТУП

Актуальність теми. На сьогоднішній день у світі існують чотири системи цифрового телебачення, які були впроваджені у різний час:

- DVB (Digital Video Broadcasting, 1993-1995),
- ATSC (Advanced Television Systems Committee, 1993),
- ISDB (Integrated Service Digital Broadcasting, 1995),
- DTMB (Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting, 2006).

Всі вказані системи мають різноманітні модифікації для передачі сигналу за допомогою супутникових систем зв'язку (Sattelite - S), кабельних розподільних мереж (Cable - C) та ефірного наземного мовлення (Terrestrial - T).

DVB-T2, або Digital Video Broadcasting - Second Generation Terrestrial, є стандартом цифрового телебачення, який представляє собою друге покоління терестріального (наземного) цифрового мовлення.

DVB-T2 використовує високоефективні методи компресії сигналу для забезпечення якісного відтворення відео та аудіо при передачі по обмеженому діапазону частот. Стандарт використовує ефективні схеми модуляції для передачі даних, що дозволяє оптимально використовувати обмежену ширину смуги.

DVB-T2 підтримує техніку MISO (Multiple Input, Single Output) та MIMO (Multiple Input, Multiple Output), що дозволяє підвищити ефективність передачі за рахунок використання кількох антен або шляхів для передачі та прийому даних. DVB-T2 забезпечує покращену пропускну здатність порівняно з попереднім поколінням (DVB-T), що дозволяє передавати вищу роздільність відео та інші дані в одиничному каналі.

Стандарт дозволяє ефективно використовувати частотний ресурс для одночасної передачі великої кількості телевізійних каналів. DVB-T2 може підтримувати зворотний канал для інтерактивних послуг, що включають в себе передачу даних з телеглядача до провайдера контенту. Стандарт розроблено таким чином, щоб підтримувати високу чіткість (HD) та ультрависоку чіткість

(UHD) зображення для поліпшення якості передачі. DVB-T2 включає заходи для зменшення впливу електромагнітних перешкод на якість прийому сигналу.

Загальна мета DVB-T2 - покращення ефективності передачі, якості зображення та аудіо, а також розширення функціоналу для задоволення зростаючих потреб глядачів у цифровій ері.

Мета роботи – дослідження якості сигналу цифрового телебачення стандарту DVB-T2. Для досягнення цієї мети у роботі **вирішується ряд задач:**

- розглянути технічні характеристики та принципи роботи DVB-T2;
- порівняти характеристики DVB-T2 з іншими стандартами цифрового телебачення;
- охарактеризувати методи оцінки якості сигналу;
- описати процедуру проведення дослідження сигналу DVB-T2 у Житомирському районі;
- зробити розрахунок запасу на завмирання у цифровій радіолінії стандарту DVB-T2 у Житомирському районі;

Об'єктом дослідження є процес передачі радіосигналу цифрового телебачення стандарту DVB-T2.

Предметом дослідження є визначення якості сигналу цифрового телебачення стандарту DVB-T2 у Житомирському районі.

Наукова новизна. Результати магістерської роботи доповідались та обговорювались на VI всеукраїнській науково-технічній конференції «Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення» у м. Житомир 29-30 листопада 2023 р. [1].

Структура магістерської роботи. Магістерська робота складається зі вступу, трьох розділів, висновку, списку використаних джерел та додатків. Список використаних джерел включає 30 найменувань.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СТАНДАРТУ DVB-T2

1.1. Історія та розвиток стандарту DVB-T2

DVB-T2, або Digital Video Broadcasting - Second Generation Terrestrial, є стандартом цифрового телебачення, який розроблявся для покращення ефективності передачі сигналу та надання більшого обсягу телевізійних каналів через ефективне використання радіочастотного спектра [6].

Стандарт DVB-T2 розроблявся консорціумом Digital Video Broadcasting Project (DVB), який був створений для встановлення стандартів цифрового телебачення. Попередній стандарт DVB-T, який використовується для цифрового терестріального телебачення, мав свої обмеження, і DVB-T2 став наступним кроком для подолання цих обмежень. DVB є міжнародною асоціацією, створеною з метою розвитку та підтримки стандартів для цифрового телебачення. Організація включає представників з різних секторів телекомунікаційної індустрії, таких як телебачення, виробники обладнання, оператори мереж і багато інших. Робота консорціуму спрямована на розробку стандартів, які забезпечують сумісність та ефективність в області цифрового телебачення і зв'язку [11].

Стандарт цифрового телебачення DVB-T2 (Digital Video Broadcasting - Second Generation Terrestrial) був розроблений Консорціумом цифрового телебачення (DVB), що є міжнародною групою для розробки відкритих стандартів для телебачення. DVB було засновано у 1993 році представниками індустрії телекомунікацій та телерадіомовлення з кількох європейських країн.

Розробка DVB-T2 була продовженням роботи над попереднім стандартом DVB-T, і вона спрямована на поліпшення технічних характеристик передачі цифрового телебачення через ефір. Робота над стандартом DVB-T2 розпочалася у 2006 році, і перша версія була опублікована у 2008 році [5].

DVB-T2 враховує сучасні технологічні рішення для поліпшення продуктивності, ефективності використання радіочастотного спектра і якості

передачі сигналу. Стандарт був розроблений для задоволення зростаючих вимог щодо якості та кількості передаваного контенту в цифровому телебаченні.

Робота над стандартом DVB-T2 розпочалася у 2006 році, і вже у 2009 році було прийнято перший реліз стандарту. Основні цілі включали підвищення пропускної здатності та ефективності передачі сигналу, а також покращення якості зображення. Для досягнення цих цілей DVB-T2 використовує більш ефективні алгоритми стиснення відео, а також розширені технічні характеристики, що дозволяють ефективніше використовувати обмежений ресурс радіочастотного спектра. Це дозволяє передавати більше інформації за один раз і підвищує загальну пропускну здатність мережі. DVB-T2 став еволюцією в області терестріального цифрового телебачення, що дозволяє краще використовувати доступний ресурс для трансляції високоякісного відео та аудіо [14].

DVB-T2 має кілька ключових характеристик, які відрізняють його від попередника DVB-T. Однією з них є використання більш ефективних кодеків для стиснення відео, таких як H.264 або H.265 (HEVC), що дозволяє передавати високоякісне відео при менших розмірах файлів. Основна перевага використання цих кодеків полягає в тому, що вони дозволяють передавати високоякісне відео при менших розмірах файлів. Це особливо важливо для терестріального телебачення, де обмежений ресурс радіочастотного спектра потрібно ефективно використовувати для передачі багатьох каналів. HEVC (H.265) є ще більш ефективним за H.264 і дозволяє зберігати велику кількість інформації при більш низьких бітрейтах, що робить його ідеальним для передачі високоякісного контенту при обмеженому обсязі доступного спектра. Ця характеристика важлива для забезпечення якісного телебачення при обмеженому ресурсі [9].

DVB-T2 використовує більш розумне використання радіочастотного спектра, що дозволяє передавати більше каналів на одній частоті. Це забезпечує більшу гнучкість для телекомунікаційних операторів і дозволяє забезпечити більший обсяг контенту для глядачів. Однією з ключових особливостей DVB-T2 є використання технології MIMO (Multiple Input, Multiple Output), яка дозволяє використовувати кілька антен для передачі і отримання сигналу. Це сприяє

покращенню якості сигналу і забезпечує більшу пропускну здатність. Більш ефективне використання радіочастотного спектра дозволяє телекомунікаційним операторам передавати більше каналів і об'єму контенту на обмеженому спектрі частот. Це особливо важливо в умовах обмеженого радіочастотного ресурсу, оскільки дозволяє максимально ефективно використовувати доступний спектр для забезпечення якісного телебачення. Такий підхід забезпечує більшу гнучкість для телекомунікаційних операторів і дозволяє їм пристосовувати свою мережу до змінних умов і попиту споживачів, що є важливим у сучасному медіа-середовищі.

Перші випробування DVB-T2 розпочались в ряді країн у 2009 році, і вже з 2010 року відбулась перша комерційна трансляція за цим стандартом. З того часу DVB-T2 став широко використовуваним стандартом для терестріального цифрового телебачення, особливо в країнах, які переходять до цифрового телебачення або оновлюють свою існуючу інфраструктуру. У 2010 році відбулась перша комерційна трансляція за стандартом DVB-T2. Це відзначилося переходом до нового етапу цифрового телебачення, де споживачі мали можливість отримати покращену якість сигналу та більше каналів на одній частоті завдяки ефективнішому використанню радіочастотного спектра [21].

Однією з переваг DVB-T2 є можливість підтримувати високоякісне відео в форматі HD (висока роздільна здатність), а також надавати інші додаткові послуги, такі як інтерактивне телебачення і передача даних. Це зробило стандарт привабливим для телекомунікаційних операторів і глядачів, які шукали покращену телевізійну експерієнцію.

З розвитком технологій і збільшенням попиту на високоякісний контент, DVB-T2 залишається ключовим стандартом для терестріального цифрового телебачення. Ймовірно, у майбутньому можуть з'явитися оновлені версії стандарту або додаткові розширення для задоволення нових вимог споживачів та технічних можливостей [6].

1.2. Технічні характеристики та принципи роботи DVB-T2

Стандарт телемовлення DVB-T2 визначає методи запобігання передаванню однакової інформації при обробці множинних транспортних потоків MPEG-TS: у випадку, коли у множинних транспортних потоках містяться пакети із однаковою інформацією, то їх можна видалити з транспортних потоків та відобразити у загальний канал PLP. Тоді приймач об'єднуватиме контент загального каналу PLP та обрані користувачем дані для відновлення транспортного потоку TS. На рис. 1.1 Блок перетворення потоку TS/GSE до PLP здійснює функцію розділення та об'єднання, щораз забезпечує синхронізацію обраних користувачем PLP-каналу даних та загального PLP-каналу, а також забезпечує наскрізну прозорість із поліпшеною ефективністю використання частотної смуги. Блоки адаптації режиму та потоку перетворюють вхідний потік в блоки даних, причому нуль-пакети транспортного потоку видаляються і вставляються біти циклічного контролю надмірності CRC. Кодери BCH та LDPC з бітовим перемеженням утворюють підсистеми прямої корекції помилок. Доступні дві довжини кодового блоку: 64800 та 16200 бітів [9].

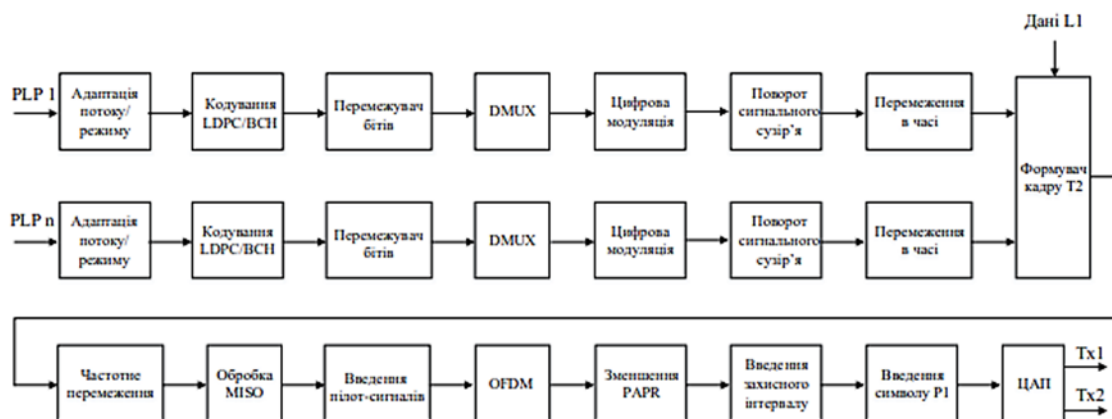


Рис. 1.1 – Структурна схема передавача системи DVB-T2

Характеристики так званих коротких кодів на кілька десятих децибела гірші, ніж нормальних кодів, але це забезпечує менший час затримки для додатків із цифрового потоку низькою швидкістю. Швидкість LDPC-коду у системі телемовлення DVB-T2 становить 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6. Цифрова модуляція

реалізується два блоками – демультимплексором, що формує декілька паралельних підпотоків, та цифровим модулятором, що має можливість вибору методу модуляції QAM-16, QAM-64, QAM-256 або PSK-4. LDPC-коди системи телемовлення DVB-T2 дозволяють забезпечити високу ефективність в неселективних каналах при використанні вищої швидкості кодування, ніж в системі телемовлення DVB-T. Так забезпечуються вища пропускна здатність каналу зв'язку. Але, для частотно-селективних каналів необхідно застосовувати коди з великою надмірністю, яку може забезпечити код із низькою швидкістю [7].

Тому стандарт DVB-T2 має можливість застосовувати обернене сузір'я у якості додаткової опції для поліпшення характеристик прийому навіть у каналах із сильними завмираннями. Обертання 29 сузір'я на певну величину кут означає те, що кожна його точка відображена на різні точки на кожну з I і Q вісей. Наступний етап обробки – перемешування модуляційних символів і перемешування в часі для формування субрізів окремих PLP-каналів.

Порядок їх передачі у системному кадрі, а також інші параметри визначаються блоком формування кадру, який забезпечує ввід комірок даних у символи OFDM на виході часових перемешувачів, при цьому додається сигнальна інформація L1, для створення кадрів і суперкадрів. Після частотного перемешування і попередньої обробки і MISO-режимі здійснюється підготування до формування COFDM-сигналу, а саме: введення за обраною послідовністю пілот-сигналів, здійснення оберненого швидкого перетворення Фур'є [15] з об'ємами 2K, 4K, 8K, 16K, 32K, введення захисного інтервалу.

Сформований таким чином сигнал можна попередньо обробити для зменшення пікфактора сигналу OFDM за алгоритмами ACE (розширення активного сузір'я) чи TR (резервування несучих коливань). Формування кадру передачі закінчується введенням P1-символу, що дозволяє забезпечити швидке виявлення сигналу. Тобто, T2-кадр починається з одного опорного P1-символу та одного чи більше опорних P2-символів, за яким слідує конфігурований набір символів даних. Основна ціль застосування P2- символів – це перенесення службових даних L1[19].

На рис. 1.2 подана структурна схема тракту передачі службової інформації L1. В ньому здійснюється попередня обробка окремо від каналів даних та об'єднання даних PLP і інформації L1 для їх сумісного оброблення у тракті.

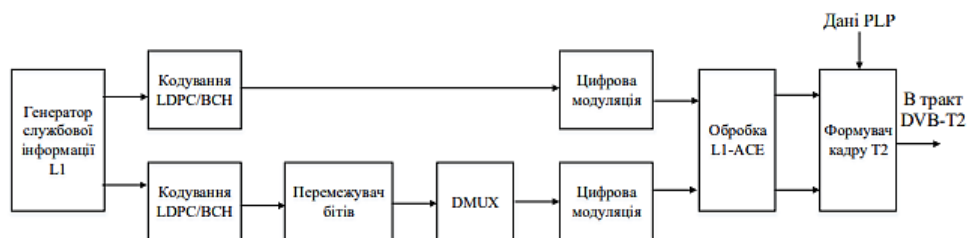


Рисунок 1.2– Структурна схема тракту передачі службової інформації

L1 послідовність біт попередньої сигналізації характеризується фіксованою довжиною і спочатку кодується BCH-кодом, до якого додано біти перевірки на парність. Потім інформаційні біти і біти перевірки на парність BCH-коду захищаються за допомогою перфорованого та скороченого LDPCкоду з розміром 16K та швидкістю 1/4 ($N_{ldpc}=16200$ біт) [9].

Після процедури кодування бітів попередньої сигналізації реалізується двійкова PSK-2 модуляція. Число біт пост-сигналізації L1 є змінним, а біти передаються за допомогою блоків LDPC-коду в залежності від довжини L1. У випадку, коли число біт є недостатнім для кодування LDPC-кодом, здійснюється доповнення нульовими бітами так, що кількість біт у блоці досягла 16200 біт. Потім кожен блок L1-post захищається від помилок шляхом каскадного кодування із зовнішнім BCH-кодом і внутрішнім LDPC-кодом, що має швидкість 1/2.

Бітове перемешування, яке застосовується лише у випадку, коли для передавання інформації постсигналізації використовуються методи модуляції QAM-16 або QAM-64. Для формування модуляційних символів реалізують демультимплексування біт з виходу бітового перемешувача, а також подальшу цифрову модуляцію за методами PSK-2, PSK-4, QAM-16 або QAM-64. Оброблення за алгоритмом розширення активного сигнального сузір'я ACE здійснюються для зменшення пікфактору сигналу сигналізації L1 [11].

Розглянемо детальніше як DVB-T2 використовує ряд технічних характеристик і принципів роботи для поліпшення передачі цифрового телебачення через ефір. Основні технічні характеристики та принципи роботи DVB-T2 [15]:

1. Модуляція і Кодування (MODCOD): DVB-T2 використовує різні схеми модуляції і кодування для ефективного використання радіочастотного спектра. MODCOD визначає, як інформація кодується та передається через канал. Різні MODCOD-схеми можуть бути вибрані в залежності від умов передачі і вимог до якості сигналу. Основні аспекти MODCOD в DVB-T2 включають:

- Модуляція: MODCOD визначає схему модуляції, яка використовується для передачі сигналу. Різні схеми модуляції мають різну ефективність при передачі даних через канал. Наприклад, QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), 16-QAM (16 Quadrature Amplitude Modulation), і 64-QAM використовують різний рівень квантування для представлення бітів даних.

- Кодування: Кодування включає в себе процес перетворення вхідних даних у кодову послідовність. DVB-T2 використовує LDPC (Low-Density Parity-Check) кодування для корекції помилок в каналі передачі даних. Це дозволяє виявляти і виправляти помилки, які можуть виникнути через шуми або інтерференцію [6].

- Співвідношення сигнал-шум (SNR): Вибір конкретної MODCOD-схеми також може залежати від рівня шуму в каналі. Якщо SNR низький, то може використовуватися менш ефективна схема модуляції для забезпечення більшої стійкості до помилок.

- Адаптація до каналу: DVB-T2 може динамічно адаптуватися до змін умов каналу, вибираючи відповідні MODCOD-схеми в реальному часі. Це дозволяє оптимізувати передачу сигналу в залежності від змінюючихся умов, таких як інтерференція або зміни в рівні сигналу.

2. MIMO (Multiple Input, Multiple Output): DVB-T2 підтримує технологію MIMO, яка використовує кілька антен для передачі і отримання сигналу. Це дозволяє покращити якість сигналу, зменшити вплив шумів та інтерференції, і

забезпечити більшу пропускну здатність. Основні аспекти використання MIMO в DVB-T2 включають [20]:

- Більша пропускну здатність: З використанням кількох антен для передачі та отримання сигналів MIMO дозволяє підвищити пропускну здатність каналу. Це особливо важливо в умовах обмеженого радіочастотного спектра, де оптимізація використання доступного спектра є критичною.

- Покращення якості сигналу: MIMO дозволяє покращити якість сигналу шляхом використання множини антен для зменшення ефектів множинного розсіювання і погіршення сигналу в результаті відбиття сигналу від різних перешкод.

- Стійкість до шумів та інтерференції: Використання MIMO дозволяє зменшити вплив шумів і інтерференції, так як система може виявляти та компенсувати їх, використовуючи інформацію, отриману з кількох антен.

- Розширення зони покриття: MIMO може поліпшити зону покриття, дозволяючи сигналам пройти через різні маршрути та обійти перешкоди.

Загалом, технологія MIMO в DVB-T2 є важливим елементом для оптимізації та покращення якості передачі сигналу цифрового телебачення через ефір, особливо в умовах непередбачуваних обставин та обмеженого спектра частот [4].

3. FFT (Fast Fourier Transform): DVB-T2 використовує FFT для розділення сигналу на різні підканали (суб-носії), що дозволяє передавати більше інформації паралельно. Основні аспекти використання FFT та OFDM у DVB-T2 включають:

- Розділення спектра: FFT використовується для розбиття широкосмугового сигналу на багато зустрічних суб-носіїв, які використовуються для передачі даних паралельно. Кожна суб-носія може нести окремий потік даних, що дозволяє передавати більше інформації в один часовий інтервал.

- Ортогональність суб-носіїв: OFDM використовує ортогональні суб-носії, що означає, що сигнали на кожній суб-носії ортогональні один одному. Це дозволяє уникнути міжсимвольної інтерференції, що може виникнути при використанні традиційних методів передачі.

- Стійкість до множинного розсіювання: OFDM також є ефективним у боротьбі з ефектами множинного розсіювання, коли сигнал розсіюється та дістається до приймача по різних шляхах [8].

- Адаптація до каналу: OFDM дозволяє динамічно адаптуватися до змін умов передачі, вибираючи різні суб-носії в залежності від характеристик каналу, що забезпечує оптимальну передачу сигналу.

FFT і OFDM в DVB-T2 є ключовими технологіями для ефективного використання радіочастотного спектра та забезпечення надійної передачі цифрового телебачення через ефір.

4. LDPC (Low-Density Parity-Check) кодування: DVB-T2 використовує LDPC кодування для корекції помилок в каналі передачі даних. Це допомагає підвищити надійність передачі сигналу. Основні аспекти використання LDPC кодування в DVB-T2 включають:

- Корекція помилок: LDPC коди можуть виявляти і коригувати помилки в каналі передачі даних. Це особливо важливо в умовах, де сигнал може піддаватися спотворенню або шумам.

- Ефективність: LDPC кодування вважається ефективним для корекції помилок при роботі з каналами з високим рівнем шуму чи надмірною інтерференцією.

- Низька густина перевірки парності: У LDPC кодуванні використовується низька густина перевірки парності, що означає, що велика кількість бітів не залучається до перевірки парності, що полегшує декодування [3].

- Адаптація до умов каналу: LDPC коди можуть бути адаптовані до різних умов каналу, включаючи зміни рівня шуму чи характеристик передачі.

- Підтримка високих швидкостей передачі даних: LDPC використовується для забезпечення корекції помилок при високих швидкостях передачі даних, що важливо для високоякісної передачі великого обсягу відео та аудіоконтенту.

Використання LDPC кодування в DVB-T2 допомагає підвищити надійність передачі сигналу та забезпечити стійкість до спотворень чи інтерференції в каналі передачі даних.

5. PLP (Physical Layer Pipe): DVB-T2 може розділяти доступний спектр на різні "труби" або PLP, кожна з яких може передавати окремий потік даних. Це дозволяє ефективно використовувати спектр для різних послуг і типів контенту. Основні аспекти використання PLP в DVB-T2 включають:

- Різноманітність послуг: Розділення спектра на різні PLP дозволяє одночасно передавати різноманітні послуги, такі як телеканали різної якості (HD, SD), аудіоконтент, додаткові дані, інтерактивні послуги [34].
- Гнучкість використання ресурсів: За допомогою PLP можна динамічно адаптувати розділення спектра для різних типів контенту або послуг. Це дозволяє оптимізувати використання ресурсів в залежності від актуальних вимог і попиту.
- Адаптація до змін умов: PLP дозволяє системі динамічно змінювати розподіл ресурсів в разі змін умов передачі, таких як зміна якості сигналу або варіації в радіочастотному середовищі.
- Підтримка різних форматів: Кожна PLP може передавати дані відповідно до певного формату або кодеку, що дозволяє підтримувати різні технічні характеристики і вимоги для різних послуг.

Розділення на PLP в DVB-T2 є стратегічним підходом для оптимізації використання спектра та задоволення різноманітних потреб споживачів, а також для надання телекомунікаційним операторам більшої гнучкості в управлінні ресурсами [17].

6. Guard Interval (Інтервал захисту): DVB-T2 підтримує короткий і довгий інтервали захисту між символами, що дозволяє компенсувати вплив множинного розсіювання і погіршення сигналу. Інтервал захисту між символами дозволяє уникнути міжсимвольної інтерференції та забезпечити стійкість до змін умов передачі сигналу. В DVB-T2 підтримуються два типи інтервалів захисту: короткий і довгий.

Короткий інтервал захисту: Використовується для ефективного використання радіочастотного спектра. Короткий інтервал захисту дозволяє передавати більше символів за один часовий інтервал, що призводить до збільшення пропускної здатності системи.

Довгий інтервал захисту: Забезпечує більший захист від множинного розсіювання і інших ефектів, але за рахунок зменшеної пропускної здатності. Довгий інтервал захисту використовується у менш вигідних умовах передачі, де необхідно забезпечити стійкість до спотворень сигналу [9].

Вибір між коротким і довгим інтервалом захисту залежить від конкретних умов каналу та вимог до системи. Наприклад, у відсутності значного множинного розсіювання та інтерференції може бути вигідніше використовувати короткий інтервал захисту для оптимізації пропускної здатності. У більш складних умовах передачі може бути вибрано довший інтервал захисту для забезпечення стабільності сигналу.

7. Підтримка HDTV (High Definition Television): DVB-T2 розроблений для передачі високоякісного відео в форматі HD, що забезпечує глядачам високу роздільну здатність. HDTV визначається високою роздільною здатністю і якістю зображення, що виражається в більшій кількості пікселів на екрані порівняно зі стандартним телевізійним форматом. Основні особливості DVB-T2, які дозволяють підтримувати HDTV, включають:

- Більша пропускна здатність: DVB-T2 забезпечує високу пропускну здатність каналу, що дозволяє передавати велику кількість даних, необхідних для високоякісного відео в форматі HDTV.

- Ефективне використання спектра: Технології, такі як розділення на PLP (Physical Layer Pipe) та робота з різними MODCOD (Модуляція і Кодування), дозволяють ефективно використовувати радіочастотний спектр для передачі великої кількості високоякісного відеоконтенту.

- Підтримка високих роздільних здатностей: DVB-T2 може передавати сигнали з високою роздільною здатністю, такими як 720p, 1080i, та 1080p, які відповідають стандартам HDTV [44].

- Підтримка більш ефективного кодування і модуляції: Використання продуктивних алгоритмів кодування, таких як LDPC (Low-Density Parity-Check), та сучасних схем модуляції дозволяє максимально використовувати доступний канал для передачі високоякісного відео.

В результаті DVB-T2 стає ефективним стандартом для розповсюдження високоякісного відео та забезпечення глядачів високою роздільною здатністю зображення на своїх телевізорах.

Ці технічні характеристики і принципи роботи дозволяють DVB-T2 забезпечити покращену якість передачі, більше ефективне використання радіочастотного спектра і підтримку різноманітних послуг, включаючи інтерактивне телебачення та передачу даних [13].

Технічний опис DVB-T2 в Україні включає ряд основних аспектів, які стосуються цифрового телебачення з використанням стандарту DVB-T2 в країні. Зазвичай, такий опис охоплює такі питання, як параметри передачі, характеристики сигналу, розподіл каналів, підтримка додаткових послуг, інформація про технічні стандарти.

Україна використовує певний частотний діапазон для передачі DVB-T2. Цей діапазон може варіюватися залежно від регіону і визначається національними органами телекомунікацій. Україна може використовувати різні схеми модуляції і кодування для оптимального використання радіочастотного спектра. Параметри MODCOD можуть визначатися для кожного каналу окремо. DVB-T2 підтримує короткі і довгі інтервали захисту між символами. Вибір інтервалу захисту може залежати від умов передачі в конкретному регіоні. Для ефективного використання спектра може застосовуватися розділення на PLP, що дозволяє передавати різні потоки даних на одному каналі. DVB-T2 в Україні розроблено таким чином, щоб підтримувати передачу високоякісного відео, включаючи формат HDTV. Визначення технічних стандартів, які використовуються для реалізації DVB-T2 в Україні, зокрема, стандарти модуляції, формату сигналу, кодування. Опис процесів та технічних засобів, які використовуються для реалізації DVB-T2 в Україні, включаючи передавачі, антени, тюнери [25].

Можливість передачі додаткових послуг, таких як електронний програмний гід, текстові інформаційні сервіси, аудіо- та відеосупроводження, інтерактивні можливості.

Технічний опис DVB-T2 в Україні може також включати специфічні положення та регламентації, встановлені національними телекомунікаційними органами. Для конкретної інформації щодо технічних параметрів, рекомендацій та налаштувань, слід звертатися до відповідних регуляторних органів та провайдерів послуг цифрового телебачення в Україні.

1.3. Порівняння DVB-T2 з іншими стандартами цифрового телебачення

У стандарті DVB-T2 використовується технологія ортогонального частотного мультиплексування - OFDM. Її особливістю є те, що вхідний транспортний потік розділяється за допомогою мультиплексора на n цифрових підпотоків, кожен з яких модулює свою гармонійну підносійну за допомогою оберненого перетворення Фур'є. При цьому всі підносійні ортогональні один одному [53].

Спектри сусідніх підносійних наполовину перекривають один одного, що дозволяє в два рази зменшити значення частотного розносу між підносійними, підвищити швидкість передачі цифрової інформації і збільшити ефективність використання спектра в системі передачі з OFDM, в порівнянні з традиційними багатоканальними системами передачі з частотним поділом сусідніх спектрів за допомогою смугових фільтрів [2]. Для виконання корекції помилок в DVB-T2 використовується кодування, яке використовується в супутниковому стандарті DVB-S2 [20].

Поєднання кодування з низькою співвідношенням перевірок на парність (LDPC) і кодування Боуза-Чоудхурі-Хоквінгема (БЧХ) забезпечує більш стійкий сигнал і чудову якість прийому-передачі сигналу в будь-яких умовах. Також в DVB-T2 є параметри (число несучих, тривалість захисного інтервалу і розміщення пілотсигналів), що дозволяють знизити до мінімуму частку службової інформації

для будь-якого заданого каналу передачі. Новий метод «повороту сигнального сузір'я» забезпечує істотну стійкість в поганих ефірних умовах.

Для гарного забезпечення умов прийому сигналу реалізований механізм роздільного налаштування стійкості сигналу в межах каналу для кожної наданої служби. Цей же самий механізм дозволяє приймачу економити енергію центрального процесора обладнання за рахунок декодування тільки однієї програми, на відміну від стандарту DVB-T [33].

Проаналізувавши стандарт DVB-T2, було визначено його основні переваги. Такими перевагами є: використання двох видів модуляції КАМ і OFDM; поєднання двох режимів кодування – кодування з низькою співвідношенням перевірок на парність (LDPC) і кодування Боуза-Чоудхурі-Хоквінгема (БЧХ) забезпечує більш стійкий сигнал і чудову якість прийому-передачі сигналу; наявність параметрів, таких як число несучих, тривалість захисного інтервалу і розміщення пілот-сигналів дозволяє знизити до мінімуму частку службової інформації для будь-якого заданого каналу передачі; метод «повороту сигнального сузір'я» - забезпечує істотну стійкість в поганих ефірних умовах завдяки тому, що сигнальне сузір'я повертається на певний кут і кожній точці сузір'я відповідає унікальна пара координат; наявність механізму роздільного налаштування стійкості сигналу в межах каналу для кожної наданої служби дозволяє приймачу економити енергію центрального процесора обладнання за рахунок декодування тільки однієї програми [4].

Однією з багатьох переваг цифрового телебачення DVB-T2 є те, що можливий відмінний прийом навіть на відбитому сигналі. І якщо в аналоговому телебаченні все відбиті сигнали були просто перешкодами і заважали один одному і прямому сигналу (двоїння зображення, пропадання звуку, кольору і т.п.), то алгоритм обробки сигналів в форматі T2 всі відбиті сигнали перетворює в корисні, які ніби додатково підсилюють основний сигнал. І ось саме ця особливість значно розширює умови можливого прийому цифрового сигналу, особливо в межах міста. Відбитий сигнал від якоїсь високої будівлі можна вільно

приймати, умовно вважаючи його прямим сигналом з телевежі. Картинка від такого відбитого сигналу буде анітрохи не гіршою [35].

А однією з найважливіших відмінностей між цифровими і аналоговими сигналами в телебаченні є те, що в аналоговому телебаченні носієм корисної інформації є тільки амплітуда сигналу, а в цифровому форматі значна частина інформації міститься вже не тільки в амплітуді, але і в фазі сигналу. Сумування ж сигналів від декількох джерел завжди призводить до фазових змін, що і є однією з причин небажаного вибору даного типу антен для прийому цифрових каналів. Трансляція DVB-T2 ведеться тільки в дециметровому діапазоні, тому приймані сигнали метрового діапазону та ще й посилені підсилювачем (всі підсилювачі вносять свої шуми і спотворення, за рахунок їх нелінійності відбувається множення частот, інтермодуляція і т.д.) можуть ставати джерелами перешкод для прийому цифрових дециметрових каналів. І всі ці явища особливо проявлялися в тих місцях, де з одного телевежі транслювалися потужні сигнали аналогового телебачення і слабші цифрові сигнали в дециметровому діапазоні. Ще однією з причин поганої роботи даних антен є те, що «польські антени» не мають гострої діаграми спрямованості, а приймають сигнали в широкому діапазоні напрямків, звідки можуть транслюватися сигнали, що явно заважають прийому DVB-T2 [40]. Перехід від аналогового до цифрового (DVB-T) телевізійного мовлення усунув деяку деградацію якості отриманих сигналів, яка проявляється переважно шумами та віддзеркаленнями (так званими «привидами») на зображенні. На наступному етапі перехід на систему мовлення DVB-T2 призвів до підвищення якості зображення, що передається (можливість трансляції у високій роздільній здатності). Однак, щоб уникнути погіршення сигналу, необхідно забезпечити достатню якість прийнятого телевізійного сигналу навіть у випадку DVB-T2 і усунути можливі перешкоди, викликані роботою іншого обладнання [20].

Найпоширеніші причини погіршення якості прийнятого телевізійного сигналу:

- отриманий сигнал має недостатній рівень або погану якість через багатопроменевість через відбиття від навколишньої місцевості (недостатнє покриття сигналу)
- сигнал затьмарюється або погіршується через відбиття внаслідок нового будівництва надземних будівель і пов'язаної з цим будівельної діяльності в оточенні телевізійного приймального майданчика
- використання низькоякісного приймального обладнання (тобто антени, підсилювача, антенного кабелю та приймача) або його неправильне встановлення або вихід з ладу будь-якої його частини
- недостатня стійкість приймального обладнання до сильного сигналу від передавача поблизу (наприклад, мобільні радіомережі, зокрема 4G і 5G, VHF або DAB радіо, радар)
- виникнення ненормальних умов поширення радіохвиль (наприклад, інверсія) протягом обмеженого періоду часу через прийом віддалених передавачів, що працюють на тому ж каналі.

Перешкоди, погана якість або недостатній телевізійний сигнал відображаються таким чином:

- пікселізація або заморожування зображення,
- миттєва втрата або спотворення (кляцання) звуку,
- втрата зображення і звуку,
- збій або неперезавантаження програми (каналу),
- зображення та звук не синхронізовані.

У разі недостатнього покриття території телевізійним або радіосигналом органи влади повинні вимагати його покращення від оператора відповідної телевізійної чи телевізійної програми або від підприємств, залучених до передачі телевізійних чи радіосигналів [45].

Якщо виникають проблеми через надзвичайні умови поширення радіохвиль, особливо під час інверсій (вони завжди тривають протягом обмеженого періоду часу), допомога не може бути надана, окрім перенастроювання для прийому

іншого каналу, якщо це можливо. Жодна допомога не доступна, якщо виникають проблеми у зв'язку з надзвичайними умовами передачі радіохвиль (завжди тривають обмежений період), окрім перенастроювання для прийому іншого каналу, якщо це можливо. Тому дуже важливо мати методику визначення апріорної достатності енергетичних показників радіолінії, яка може визначатися запасом на завмирання сигналу у точці розташування приймальної антени.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ СИГНАЛУ

2.1. Огляд методів оцінки якості сигналу

Оцінка якості сигналу DVB-T2 включає в себе ряд методів та параметрів, що враховують різні аспекти передачі сигналу. Розглянемо деякі методи оцінки якості сигналу DVB-T2:

1. Рівень сигналу (Signal Level): Міра потужності сигналу, який отримується приймальним обладнанням. Зазвичай вимірюється у децибелах (dB). Задовільний рівень сигналу важливий для уникнення спотворень та забезпечення чіткого зображення. Рівень сигналу вимірюється у децибелах (dB) і вказує на потужність сигналу, який надходить до приймального обладнання. Це може бути телевізійний тюнер, приймач або інше обладнання для отримання та декодування телевізійного сигналу. Задовільний рівень сигналу є критичним для уникнення спотворень та забезпечення чіткого зображення або звуку [11]. Недостатній рівень сигналу може призводити до відображення або відтворення низькоякісного контенту. Приймальне обладнання може відображати або вказувати рівень сигналу, що дозволяє користувачам або технічному персоналу визначати, наскільки сильний сигнал отримується. Рівень сигналу часто взаємодіє з іншими параметрами, такими як співвідношення сигнал/шум (SNR), які визначають загальну якість сигналу. Важливо забезпечити оптимальний баланс цих параметрів для досягнення високої якості передачі. Для забезпечення оптимальної якості прийому рівень сигналу може бути виміряний та налаштовуваний під час встановлення або обслуговування обладнання.

Враховуючи рівень сигналу серед інших параметрів, технічні спеціалісти можуть забезпечити ефективну роботу системи цифрового телебачення і забезпечити глядачам високу якість прийому [3].

В межах району розміщують антени та приймачі для отримання сигналу. Ці антени можуть бути розташовані на вишках або інших високих місцях для оптимального прийому. Встановлюються мережі вимірювальних пунктів,

обладнаних спеціальними пристроями для вимірювання рівня сигналу. Ці вимірювальні пункти можуть бути розташовані на стратегічних позиціях у межах району для аналізу якості сигналу в різних місцях. При визначенні рівня сигналу проводять вимірювання потужності сигналу на різних точках. Це може включати вимірювання сигналу на різних частотах та визначення рівня сигналу в мікро- або міліватах. Здійснюється аналіз умов прийому, таких як можливі перешкоди, рівень шуму, втрати сигналу через відстань. Це може допомогти визначити чинники, які впливають на якість прийому в конкретному районі [21].

2. Співвідношення сигнал/шум (Signal-to-Noise Ratio - SNR): Відношення потужності корисного сигналу до рівня шуму в каналі. Вимірюється в децибелах. Високе SNR вказує на якісний сигнал. Співвідношення сигнал/шум (SNR) визначається як відношення потужності корисного сигналу до рівня шуму в каналі.

Співвідношення сигнал/шум визначається як відношення потужності сигналу (значимої інформації) до потужності фоновому шуму (небажаного сигналу).

$$\text{SNR} = \frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}},$$

Формула для SNR виражається в децибелах (dB)

де P_{signal} - потужність сигналу, а P_{noise} - потужність шуму.

Сигнал і шум обидва повинні бути виміряні в тій же або еквівалентній точці в системі, в межах однієї і тої ж смуги пропускання системи. SNR також може бути обчислений як квадрат відношення амплітуд:

$$\text{SNR} = \frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}} = \left(\frac{A_{\text{signal}}}{A_{\text{noise}}} \right)^2,$$

де A — середньоквадратичне значення амплітуди.

Зазвичай беруть СКЗ напруги. Через те, що багато сигналів мають дуже широкий динамічний діапазон, SNR часто виражається використовуючи логарифмічну децибельну шкалу. В децибелах, співвідношення визначається так:

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}} \right) = P_{\text{signal,dB}} - P_{\text{noise,dB}},$$

Високе SNR вказує на те, що потужність корисного сигналу значно перевищує рівень шуму, що веде до якісного сигналу. Якщо SNR велике, це означає, що сигнал добре визначається в шумовому оточенні [4].

У телекомунікаційних системах, таких як цифрове телебачення DVB-T2, SNR є важливим параметром якості сигналу. Високий SNR забезпечує чітке зображення або чистий звук, тоді як низький SNR може призводити до спотворень та артефактів. Значення SNR визначається як ключовий фактор у визначенні якості сигналу. Оптимальне значення SNR залежить від конкретних вимог до якості для конкретного типу передачі даних, таких як відео чи аудіо.

У практиці інженерії сигналів і телекомунікацій важливо вдосконалювати SNR для забезпечення кращої якості сигналу. Це може включати в себе вдосконалення антен, використання ефективних схем модуляції та кодування, а також управління шумом в обладнанні. В цілому, SNR є ключовим параметром, який використовується для визначення якості сигналу у великій кількості телекомунікаційних застосувань, включаючи цифрове телебачення [21].

2. Коефіцієнт помилок бітів (Bit Error Rate - BER): Вимірює частку неправильно прийнятих бітів у вхідному потоці. Низький BER свідчить про добру якість передачі. Коефіцієнт помилок бітів (BER) визначає частку неправильно прийнятих бітів у вхідному потоці. Вимірюється відношенням кількості неправильно прийнятих бітів до загальної кількості переданих бітів. Це часто виражається у відсотках або у вигляді десяткового дробу.

У телекомунікаційних системах, таких як цифрове телебачення DVB-T2, BER є важливим параметром якості передачі. Низький BER свідчить про добру якість передачі, оскільки це означає, що майже всі біти передаються правильно. Високий BER може призводити до зниження якості передачі і відображатися в спотворених або втрачених даних. У випадку аудіо- та відеосигналів це може вести до артефактів, градієнтів та інших аномалій. В інженерії сигналів і телекомунікаціях важливо розробляти методи корекції помилок для зниження

BER. Це може включати в себе використання різних кодів корекції помилок, які дозволяють відновлювати чи виправляти виявлені помилки [16].

У багатьох телекомунікаційних системах встановлені стандарти щодо прийнятних рівнів BER в залежності від типу послуги. Наприклад, для передачі відео високої роздільної здатності можуть встановлюватися більш жорсткі вимоги до BER, ніж для передачі звукового сигналу. Важливо наголосити, що BER є ключовим показником ефективності системи передачі та призначений для вимірювання якості прийому.

4. Коефіцієнт пакетних помилок (Packet Error Rate - PER): Вказує на частку пакетів, що містять помилки. PER є важливим параметром для систем, які використовують пакетну передачу даних. Коефіцієнт пакетних помилок (PER) вказує на частку переданих пакетів, які містять помилки. Зазвичай вимірюється у відсотках або у вигляді десяткового дробу. PER є ключовим показником якості передачі даних. Низький PER свідчить про добру якість передачі, тоді як високий PER може вказувати на проблеми в каналі передачі даних. В інженерії мереж часто використовуються методи корекції та відновлення помилок для зменшення впливу помилок на передачу даних. Деякі протоколи можуть намагатися відновлювати втрачені або пошкоджені пакети, або взагалі не втрачати передачу в разі виявлення помилок. PER може взаємодіяти з іншими параметрами, такими як співвідношення сигнал/шум (SNR) і коефіцієнт помилок бітів (BER). Вони разом визначають якість передачі від початкового сигналу до рівня окремих бітів і пакетів. Враховуючи PER разом із іншими параметрами, інженери можуть оптимізувати та підтримувати ефективну передачу даних в мережах [9].

5. Індекс якості сигналу (Signal Quality Index): Розраховується на основі різних параметрів, таких як BER, SNR, інші параметри модуляції і кодування. Використовується для надання комплексної оцінки якості сигналу.

6. Маргін узагальненої робочої точки (Generalized Margin): Враховується умови роботи, шум та інші фактори для оцінки маргіну, який вказує, наскільки сильний може бути сигнал для забезпечення якісного прийому [14].

7. Фактор якості сигналу (Signal Quality Factor): Розраховується на основі аналізу різних параметрів і може бути використаний для визначення якості сигналу відповідно до конкретних вимог. Фактор якості сигналу (Signal Quality Factor) - це параметр, який розраховується на основі аналізу різних параметрів для визначення загальної якості сигналу відповідно до конкретних вимог. Цей фактор може бути корисним для оцінки ефективності та надійності передачі сигналу в різних системах зв'язку, таких як цифрове телебачення чи бездротові комунікації.

Фактор якості сигналу враховує різні параметри, такі як співвідношення сигнал/шум (SNR), коефіцієнт помилок бітів (BER), коефіцієнт пакетних помилок (PER) і інші. Аналіз цих параметрів дозволяє оцінити, наскільки ефективно і якісно передається сигнал [21].

Фактор якості сигналу може бути використаний для порівняння отриманих значень зі стандартами якості, встановленими для конкретної системи. Це дозволяє визначити, чи відповідає сигнал певним вимогам якості. У деяких випадках фактор якості може враховувати індивідуальні вимоги або відчуття користувача щодо якості сигналу. Наприклад, у системах телевізійного мовлення це може включати в себе оцінку якості зображення та звуку.

Визначення фактора якості дозволяє системі управляти ресурсами (наприклад, пропускнуою здатністю) в залежності від поточної якості сигналу. Це може включати автоматичне налаштування параметрів передачі або вибір оптимальних шляхів передачі даних [33].

Фактор якості може динамічно оновлюватися в реальному часі, враховуючи зміни у середовищі передачі сигналу. Наприклад, при переміщенні користувача в бездротовій мережі або зміні умов передачі даних. Фактор якості сигналу становить важливий інструмент для забезпечення якісної та ефективної передачі сигналу у різних телекомунікаційних системах [6].

Ці методи використовуються для моніторингу і вимірювання якості сигналу DVB-T2 під час передачі телевізійного вмісту. Оцінка якості сигналу є важливою для забезпечення оптимальної якості прийому для глядачів та ефективного використання технічних ресурсів.

Для визначення зони покриття передавальної станції цифрового наземного телевізійного мовлення стандарту DVB-T2 в пунктах приймання виконують вимірювання таких параметрів радіовипромінювання (сигналу):

- рівень напруженості електричного поля електромагнітного випромінювання;
- обвідна спектральної щільності потужності (радіочастотного спектра) сигналу.

Крім того, під час вимірювання здійснюється візуальний суб'єктивний контроль якості приймання телевізійних програм за допомогою портативного телевізійного приймача, в якому передбачено демодуляцію сигналів стандарту DVB-T2.

Таким чином, поступово зростає покриття мереж DVB-T2. Це особливо важливо для регіонів, де раніше не було можливості отримати високоякісний сигнал. Розвиток інфраструктури дозволяє розширювати доступність цифрового телебачення для більш широкої аудиторії. Зростання покриття мережі DVB-T2 вказує на те, що все більше людей може скористатися перевагами цифрового телебачення з високою роздільною здатністю. Розвиток інфраструктури для цифрового телебачення не лише розширює доступність, але також може впливати на якість сигналу та додаткові можливості, такі як інтерактивні сервіси, ефективніше використання ефірного частотного ресурсу та інші інновації. Це особливо важливо в сільських та віддалених районах, де покриття може бути обмеженим, але розвиток мереж DVB-T2 дозволяє забезпечити доступ до високоякісного телебачення існуючому та новому аудиторіям [21]. Тому доцільно провести розрахунок запасу на завмирання сигналу DVB-T2 для визначених умов розповсюдження в межах Житомирського району.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ СИГНАЛУ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ СТАНДАРТУ DVB-T2 У ЖИТОМИРСЬКОМУ РАЙОНІ

3.1. Визначення послаблення сигналу на трасі розповсюдження радіохвиль

Визначення якості сигналу цифрового телебачення стандарту DVB-T2 у Житомирському районі проведемо для наступних умов: передавання сигналу здійснюється з РТПС с. Андріївка Черняхівського району на несучій частоті 50 каналу DVB-T2 із модуляцією сигналу - QPSK у смузі 8МГц. Припустима похибка передачі символів 10-6. Тип антени передавальної станції - Kathrein 750-10067.

Висота приймальної антени обираємо залежно від її розташування (10-15м). Потенційна перешкодостійкість сигналів з різними видами модуляції.

Вежа РТПС встановлена на 151 км автошляху Виступовичі-Могилів-Подільський, над рівнем моря - 222 метри. Висота розміщення DVB-T2 антени - 153 метри, тип DVB-T2 антени - Kathrein 750 10067.

<https://www.yumpu.com/en/document/view/22911660/750-10067-kathrein-scala-division>



№ з/п	Місце встановлення передавача	ТБК МХ-1, МХ-2, МХ-3, МХ-4	Потужність передавача (Вт)
1.	м. Бердичів	27, 35, 25, 23	200
2.	РТПС, с. Андріївка Черняхівського району	50, 40, 43, 42	1000

Но-мер ТВ ка-нала	Частотные границы ка-нала, МГц	Частота для наст-ройки цифрового телевидения, МГц
40	622 — 630	626
41	630 — 638	634
42	638 — 646	642
43	646 — 654	650
44	654 — 662	658
45	662 — 670	666
46	670 — 678	674
47	678 — 686	682
48	686 — 694	690
49	694 — 702	698
50	702 — 710	706

Вид модуляції QPSK, смуга каналу 8МГц.

Прийняти для розрахунків, що приймальна антена має коефіцієнт підсилення 10 дБ.

Рис. 3.1. Розрахунок зони покриття

Як відомо в OFDM кожен носійну модулюють методами багатократної модуляції (ФМ, КАМ). Найбільша кратність модуляції, яку застосовано у системі DVB-T становить 64 (QAM-64), забезпечує передавання 6 бітів однією носійною під час передавання одного символу OFDM [15].

У специфікації T2 найбільшу кратність модуляції збільшено до 256 (QAM-256), вона дозволяє передавати однією носійною 8 бітів.

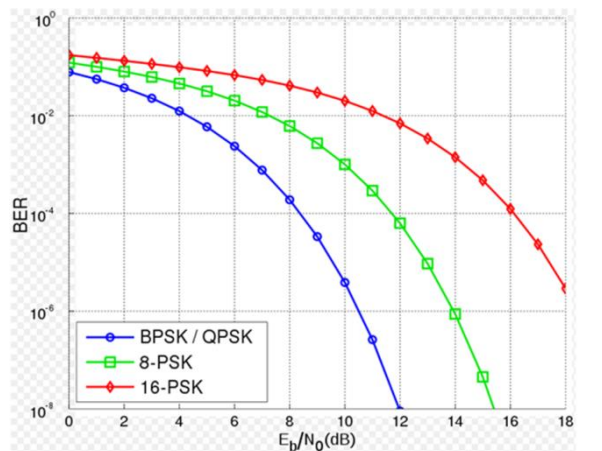


Рис. 3.2. Визначені обвідні спектру сигналів DVB-T2 для каналу 8/16 МГц

Обвідна спектру модульованих коливань T2 у режимах 16К і 32К має значно більш крутий спад позасмугових складових порівняно з режимом 2К, рис.2.10. Ця обставина дозволяє розміщувати носійні ближче до меж стандартної спектральної маски, яку стандартизовано для сигналів DVB-T у смузі частот 8 МГц. Таке розширення смуги дозволяє збільшити пропускну здатність додатково на 2%.

Розрахуємо запас на завмирання сигналу Житомирського району для визначених умов.

За допомогою програмного продукту «Google Earth» визначаємо довжину та профіль прольоту радіолінії. Прокладемо радіолінію між селищем Андріївка та селищем Барашівка і виміряємо відстань (рис. 2.11). Відстань між пунктами Андріївка та Барашівка складає $R_o=27,5$ км.

Далі, за допомогою правої клавіші миші, при натисканні на лінію між селешами, викликаємо контекстне меню (Рис.2.12) та обираємо дію «Показати профіль рельєфу».

Отримуємо карту внизу з віконцем на якому відображається висота над рівнем моря в межах лінії, яку було попередньо проведено, це відображено на

рисунку 2.13. Рухаючись по прямій на карті від с. Андріївка до с. Барашівка, визначимо зміну висоти поверхні h відносно рівня моря та занесемо ці дані до табл.2.1.

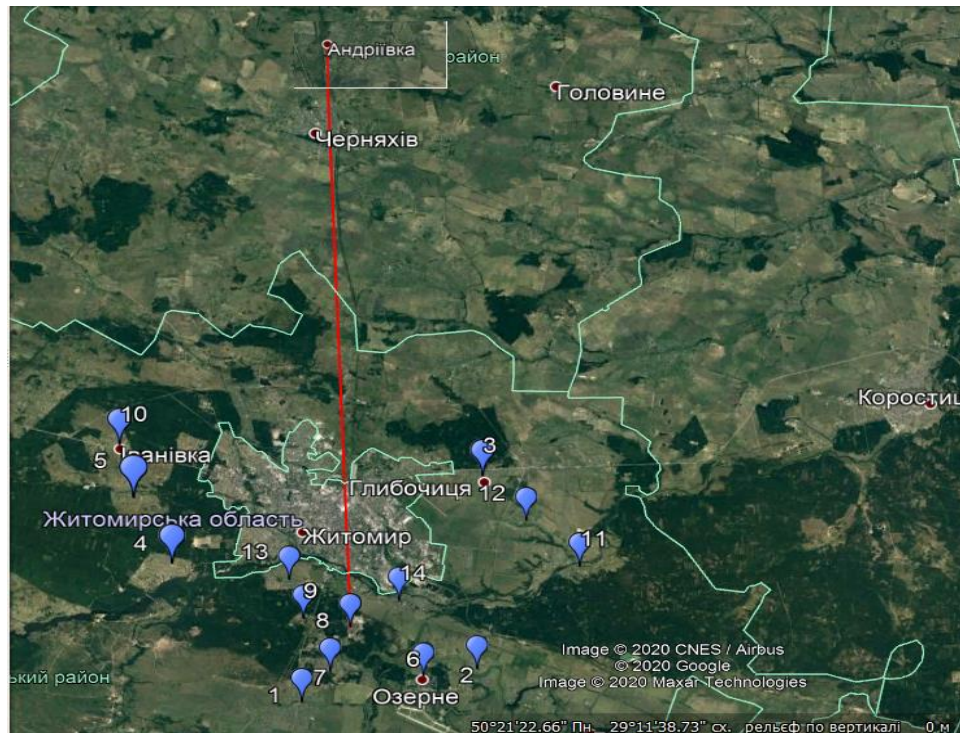


Рис. 3.3. За допомогою інструменту «Лінійка» зображена відстань між селищами Андріївка – Барашівка

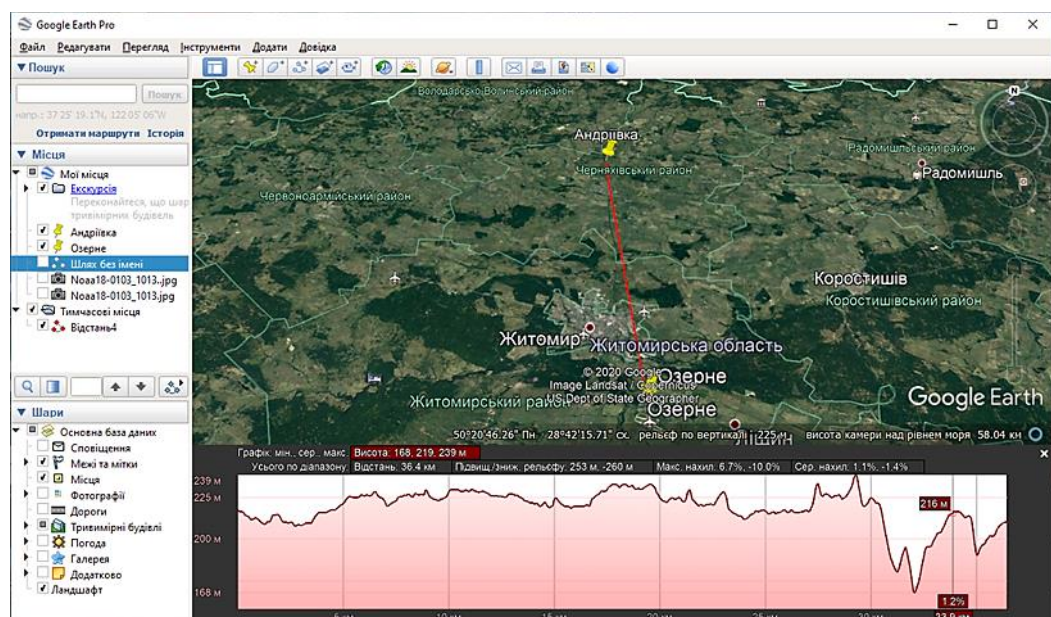


Рис.3.4. Профіль рельєфу напрямі

Таблиця 3.1

№	Відстань від початкового пункту	Висота об'єкта згідно карти	Y_i , м	ΔH , м	Примітка
1	0	216	0	369	с. Андріївка $H_a=153$ м
2	0.698	213	0.0014	213.0014	ліс
3	1.29	212	0.0026	212.0026	
4	2.47	217	0.0048	217.0048	
5	2.9	214	0.0056	214.0056	
6	3.5	219	0.0065	219.0065	
7	4.0	214	0.0073	214.0073	
8	4.35	216	0.0079	216.0079	
9	5.14	218	0.009	218.009	сmt. Черняхів поч.
10	5.93	226	0.01	226.01	
11	6.20	221	0.01	221.01	
12	6.50	225	0.01	225.01	
13	7.0	225	0.01	225.01	сmt. Черняхів кін.
14	7.54	231	0.011	231.011	
15	10.3	236	0.014	236.014	ліс поч.
16	10.6	244	0.014	244.014	
17	10.9	235	0.014	235.014	ліс кін.
18	12.0	227	0.014	227.014	
19	13.0	229	0.015	229.015	
20	14.5	220	0.015	220.015	
21	15.5	222	0.014	222.014	с. Вишпіль поч.
22	16.5	213	0.014	213.014	с. Вишпіль кін.
23	17.2	213	0.014	213.014	ізолінія
24	18.0	203	0.013	203.013	
25	18.6	201	0.013	201.013	водосховище поч.
26	18.8	205	0.013	205.013	водосховище кін.
27	19.2	199	0.012	199.012	
28	19.6	212	0.012	212.012	
29	20.2	216	0.011	216.011	
30	21.0	208	0.01	208.01	ліс поч.
31	21.5	224	0.01	224.01	
32	21.8	221	0.001	221.001	
33	22.2	233	0.009	233.009	
34	22.6	233	0.009	233.009	
35	23.0	228	0.008	228.008	
36	24.2	234	0.006	234.006	
37	24.5	225	0.006	225.006	
38	24.8	233	0.005	233.005	
39	25.3	223	0.004	223.004	ліс кін.
40	25.7	212	0.003	212.003	
41	26.2	212	0.003	212.003	
42	26.7	204	0.002	204.002	
43	26.9	206	0.0013	206.0013	ліс поч.
44	27.2	196	0.0006	196.0006	ліс кін.
45	27.5	205	0	215	с. Барашівка $H_b=10$ м

Так як Земля має сферичну форму, то необхідно визначити її кривизну на заданому відрізку по формулі:

$$y = \frac{R_0 \cdot R_A}{2 \cdot R_3} \cdot \left(1 - \frac{R_A}{R_0}\right),$$

де y – поточне значення дуги поверхні моря;

R_0 – довжина інтервалу ;

R_A – відстань від кінця інтервалу до точки, у якій визначається величина y ;

R_3 – радіус Землі, який рівний 6371 км.

Дані розрахунків занесемо до таблиці 1, позначивши сумарну висоту поверхні через $\Delta h = h + y$. Потім від початку лінії (Андріївка) будуюмо зміну сумарного значення висот поверхні на інтервалі радіолінії (РЛ) і отримані точки з'єднуємо прямими лініями. В результаті отримаємо профіль прольоту радіолінії.

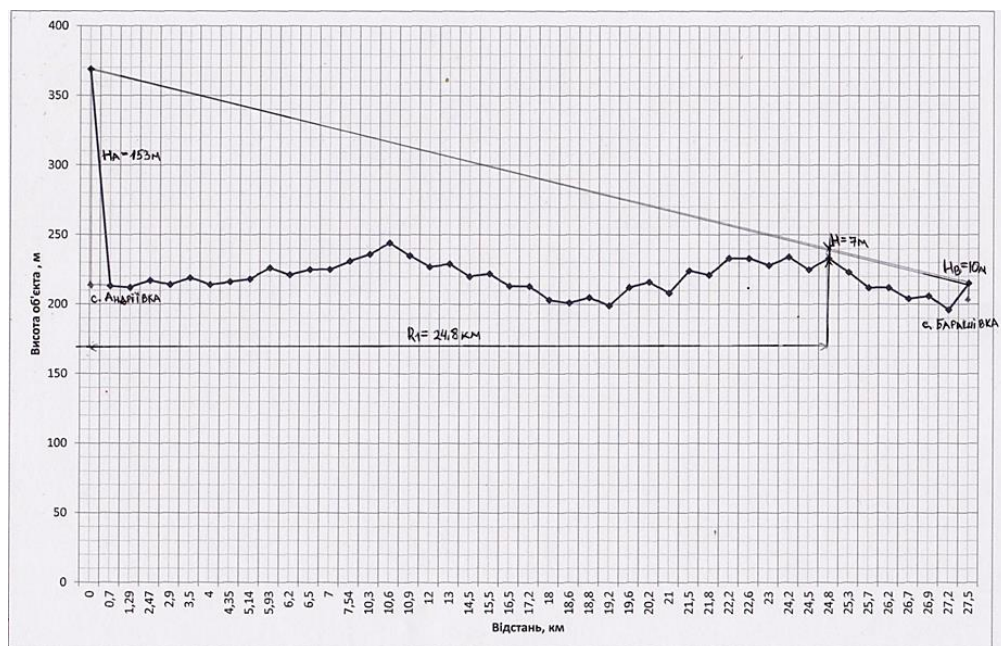


Рис. 3.5. Профіль радіолінії

Розташуємо передавальну (пункт А) і приймальну (пункт В) на щоглах відповідної висоти. Нехай, для прикладу, висота, на якій розташовано передавальну антену $H_A = 153\text{ м}$, а висота приймальної антени не менше 10 м— наприклад, $H_B = 10\text{ м}$.

Визначимо тип прольоту РЛ. Для цього обчислимо відстань H (просвіт) між лінією, що поєднує антени та перепорою з максимальною висотою (див. рис. 2.14). У даному випадку це є точка, що знаходиться на відстані $R_1=24,8$ км від передавальної антени і має висоту 233 м. Спираючись на дані рисунок 1, з очевидних геометричних розрахунків визначаємо, що значення $H = 7$ м.

Як відомо, основна частина енергії передавача поширюється у бік прийомної антени усередині мінімальної зони Френеля. Радіус мінімальної зони Френеля для точки прольоту з максимальною висотою розраховуємо за наступною формулою:

$$H_0 = \sqrt{\frac{R_0 \cdot \lambda \cdot k_{\text{тр}}(1 - k_{\text{тр}})}{3}} = \sqrt{\frac{27500 \cdot 0,425 \cdot 0,9018(1 - 0,9018)}{3}} = 18,6 \text{ м}$$

де $k_{\text{тр}} = \frac{R_1}{R_0} = \frac{24,8}{27,5} = 0,9018$ – відносна відстань критичної точки профілю;

$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{706 \cdot 10^6} = 0,425 \text{ м}$ – довжина хвилі.

Завдяки рефракції радіохвиль відбувається зміна просвіту на трасі розповсюдження на величину $\Delta H(g) = \frac{-R_0^2 g k_{\text{мп}}(1 - k_{\text{мп}})}{4}$. Випадкова величина вертикального градієнта діелектричної проникливості повітря g має нормальний закон розподілу із середнім значенням $\bar{g} = -12 \cdot 10^{-8} (1/\text{м})$, та середньоквадратичним відхиленням $\sigma = 8 \cdot 10^{-8} (1/\text{м})$.

При проектуванні та експлуатації РЛ необхідно визначити середню потужність сигналу на вході приймача $P_{\text{с.вх}}(50\%)$, нижче якої потужність на вході приймача буде знижуватись не більше 50% часу будь-якого місяця. Ці значення пов'язані із відповідним множником послаблення $V(50\%)$ який характеризує додаткове послаблення сигналу порівняно з послабленням у вільному просторі. Множник послаблення у свою чергу залежать від значення нормованого просвіту $P(g_{50})$, який відповідає значенню вертикального градієнта діелектричної проникливості повітря $g_{50} = \bar{g}$.

Для визначення типу прольоту обчислюють нормований просвіт $P(g)$:

$$p(g) = \frac{H(g)}{H_0},$$

$$\text{де } H(g) = H + \Delta H(g).$$

Завдяки рефракції радіохвиль відбувається зміна просвіту на трасі розповсюдження на величину:

$$\Delta H(g) = \frac{-R_0^2 \cdot g \cdot k_{\text{тр}} \cdot (1 - k_{\text{тр}})}{4} = \frac{-27500^2 \cdot (-12 \cdot 10^{-8}) \cdot 0,9018(1 - 0,9018)}{4} = 2,01 \text{ м.}$$

Якщо $p(g) < 0$, тобто $H(g) < 0$, то прольот називається закритим, якщо $0 \leq p(g) < 1$, тобто $0 \leq H(g) < H_0$ - напіввідкритим, а при $p(g) \geq 1$, тобто $H(g) > H_0$ - відкритим. Отже на відкритих прольотах еліпсоїд, що обмежує мінімальну область розповсюдження радіохвиль, не перетинається із земною поверхнею. Отже для обраного напрямку Андріївка – Барашівка, маємо:

$$H(g) = H + \Delta H(g) = 7 + 2,01 = 9,01$$

$$p(g) = \frac{H(g)}{H_0} = \frac{9,01}{18,6} \approx 0,48.$$

Звідси випливає $0 \leq p(g) < 1$ – прольот вважається напіввідкритим.

Значення нормованого просвіту $p(g_{50}) = 0,48$, при $\Delta H(g_{50}) = 2,01$ м та $H(g_{50}) = 9,01$ м. Отже, так як $0 \leq p(g_{50}) < 1$, то на протязі не більше ніж 50% часу будь якого місяця можливо вважати, що прольот РРЛ буде напіввідкритим.

Визначимо множник послаблення $V^{(50\%)}$. На прольотах реальних РЛ мають місце нерівності поверхні: лісові масиви, пагорби і т.п. Так як значення рельєфу поверхні мають великий розкид, то застосовують наближені детерміновані методи для врахування конкретних особливостей прольотів РРЛ. При врахуванні впливу рельєфу місцевості на розповсюдження радіохвиль у більшості випадків використовують апроксимацію перепон сферами, кривизна поверхні яких визначається кривизною відповідних ділянок подовжнього профілю перепони. Висота сегменту $\Delta y = 10,6$ м та довжина хорди $r_b = 2,9$ км визначаються з подовжнього профілю траси.

Після знаходження радіуса сферичної перепони, ми можемо використовувати цей параметр для подальших розрахунків або моделювання розповсюдження радіохвиль враховуючи рельєф місцевості.

На відкритих прольотах довжина хорди r_b визначається як відстань між точками перетину прямої, що паралельна прямій АВ і проходить від вершини перепони на відстані $\Delta y < H_0$. Множник послаблення $V(50\%)$ для цього випадку можна розрахувати за виразом:

$$V^2 = \sqrt{1 + \Phi^2 - 2\Phi \cos\left(\frac{\pi}{3} p^2(g_{50})\right)} = \sqrt{1 + 0,16^2 - 2 \cdot 0,16 \cos\left(\frac{\pi}{3} \cdot 0,48^2\right)} \\ = 0,83 \text{ раз}$$

$$V(50\%) = 10 \log V^2 = 10 \log 0,83 = -0,81 \text{ дБ},$$

де

$$\Phi \approx \frac{0,9}{\sqrt{1 + \frac{32 \cdot k_{\text{тр}}^2 (1 - k_{\text{тр}})^2 \cdot \Delta y}{l^2 \cdot H(g_{50})}}} \approx \frac{0,9}{\sqrt{1 + \frac{32 \cdot 0,9018^2 (1 - 0,9018)^2 \cdot 2,01}{0,105^2 \cdot 9,01}}} \approx 0,17$$

$$l = \frac{r_b}{R_0} = \frac{2,9}{27,5} = 0,105$$

Таким чином, маючи численні значення $p(g_{50})$, визначаємо, що значення множника послаблення $V(50\%) = -0,81 \text{ дБ}$.

Значення множника послаблення важливе при розгляді розповсюдження радіохвиль, оскільки воно вказує на те, наскільки сильно змінюється сигнал при його проходженні через середовище або перешкоду. Визначення цього параметра дозволяє оцінити втрати сигналу та вплив перешкод на передачу і отримання сигналу. Множник послаблення вказує, наскільки потужність сигналу змінюється в результаті втрат або перешкод. Це допомагає визначити, наскільки сильно слабшає сигнал на відстані [11].

У проектуванні радіотехнічних систем множник послаблення використовується для визначення досяжності та якості сигналу в різних областях. У наших обчисленнях, де враховується рельєф місцевості та сферичні перепони, множник послаблення допомагає враховувати географічні фактори. Загалом, розуміння множника послаблення є ключовим елементом в роботі з бездротовими комунікаційними системами та проектуванні мереж для ефективного передавання сигналів на великі відстані чи через різноманітні середовища.

Зміна запасу на завмирання в цифровій радіолінії стандарту DVB-T2 визначається величиною, на яку може зменшитися рівень сигналу, і при цьому приймач все ще може отримати стабільний сигнал. Запас на завмирання є важливим параметром для забезпечення якісного та надійного прийому цифрового телебачення.

3.2. Послаблення сигналу стандарту DVB-T2 в атмосфері

Радіохвилі можуть поглиблюватися або втрачати енергію при поширенні через атмосферу через різноманітні явища. Одним із таких явищ є поглиблення (або поглинання) радіохвиль газами в атмосфері. Гази, такі як кисень, азот, водяна пара та інші, можуть поглиблювати радіохвилі через механізми поглиблення, пов'язані з молекулярними вібраціями та обертанням. Це може призводити до зниження інтенсивності радіосигналу на великих відстанях або при проходженні через товсті шари атмосфери. Поглиблення також може бути значно вираженим в определених діапазонах радіочастот, що викликає атмосферні або метеорологічні умови, такі як дощ, туман, сніг, аерозольні частки, інші метеорологічні явища та різноманітні електромагнітні властивості атмосфери. Це є важливим фактором при розгляді поширення радіосигналів на великі відстані або через різні середовища, і враховується при плануванні та проектуванні радіозв'язку та інших радіотехнічних систем [31].

При поширенні радіохвиль в атмосфері відбувається послаблення поля за рахунок поглинання енергії газами і парами води. Залежності послаблення в парах води $\alpha_{\text{вод}}$ і кисню $\alpha_{\text{кис}}$ для стандартного тиску 760 мм рт. ст. при температурі 20°C і вологості 10г/м³ від частоти. Згідно даних, $\alpha_{\text{кис}} = 0,01 \text{ дБ/км}$, $\alpha_{\text{вод}} = 0,001 \text{ дБ/км}$ і множник послаблення сигналу парами води і киснем повітря на інтервалі довжиною R_0 буде дорівнювати [22]:

$$V_{\text{атм}} = -(\alpha_{\text{вод}} + \alpha_{\text{кис}})R_0 = -(0,001 + 0,01) \cdot 27,5 = -0,302 \text{ дБ}$$

Послаблення сигналу в дощі, граді, снігу, і туманах обумовлено в основному розсіянням енергії і залежить від довжини хвилі, інтенсивності опадів, співвідношення між розмірами частинок, їх температури і агрегатного стану. Дослідження показали, що найбільше послаблення сигналу (при однаковій інтенсивності опадів по вмісту води) виходить при дощі.

Загальне послаблення сигналу на інтервалі РЛ визначається згідно виразу:

$$V_{\text{д}} = -\alpha_{\text{д}}R_{\text{еф}} = -0,1 \cdot 14,38 = -1,44 \text{ дБ}$$

Ефективна протяжність дощової області $R_{\text{еф}}$ визначається виразом

$$R_{\text{еф}} = \frac{R_0}{1 + \frac{R_0}{35 \exp(-0,015 \cdot J_{0,01})}} = \frac{27,5}{1 + \frac{27,5}{35 \exp(-0,015 \cdot 10)}} = 14,38 \text{ км}$$

де $J_{0,01}$ - інтенсивність дощу для території України, що не перевищує 10мм/год .

Отже $R_{\text{еф}} = 14,38 \text{ км}$ і при $\alpha_{\text{д}} = 0,1 \text{ дБ/км}$, $V_{\text{д}} = -1,44 \text{ дБ}$.

Таким чином, при проектуванні ЦРЛ висоти підвісів антен обрані таким чином, що траса розповсюдження радіохвиль є напіввідкритого типу. Сумарне послаблення корисного сигналу на трасі складе наступні значення:

$$V_{\Sigma}(50\%) = V(50\%) + V_{\text{атм}} + V_{\text{д}} = -0,81 - 0,302 - 1,44 = -2,55 \text{ дБ}$$

Коли говорять про "напіввідкритий тип" траси розповсюдження радіохвиль, це може вказувати на використання антенних підвісів, які забезпечують напіввідкритий промінь зондування. Антени можуть бути розміщені на висоті підвісів для забезпечення оптимального покриття та ефективності системи.

Важливим фактором при проектуванні таких систем є розглядання характеристик поширення радіохвиль. Напіввідкритий промінь може бути корисним у визначених умовах, де потрібно досягти певного покриття і зондування, але при цьому можна уникнути деякої інтерференції чи блокування.

Проектування ЦРЛ включає в себе різноманітні інженерні аспекти, такі як вибір антен, їх розташування, спрямованість, а також врахування властивостей території, де буде розташована станція.

3.3. Оцінка запасу на завмирання сигналу стандарту DVB-T2

Визначення мінімального значення потужності сигналу на вході приймача. Згідно завдання, ймовірність помилкового прийому $P_{\text{пом}} = 10^{-6}$ та використовується модуляція QPSK. Тоді для забезпечення необхідної ймовірності помилкового прийому потужність корисного сигналу на вході приймача ЦРЛ повинна перевищувати потужність шуму не менш ніж на $q^2 = 10,5 \text{ дБ}$. Тоді для визначення мінімального значення потужності сигналу на вході приймача $P_{\text{с.вх.мін}} = q^2 \cdot P_{\text{ш}}$ достатньо розрахувати потужність шуму $P_{\text{ш}}$ на вході приймача.

Потужність шуму на вході приймача можна обрахувати згідно виразу :

$$P_{\text{ш}} = N_0 \cdot \Delta f_{\text{пр}}$$

Де $N_0 = k(T_a + T_{\text{ш. пр.}})$ – спектральна щільність потужності шуму;

T_a – шумова температура антени;

$T_{ш. пр.}$ – шумова температура приймача.

Необхідна смуга пропускання приймача складає $\Delta f_{пр} = 8$ МГц.

Найбільше значення T_a на частоті 706 МГц не перевищує 400 К.

Шумова температура приймача $T_{ш. пр.}$ для обраної частоти визначається згідно графіків. Для підсилювача на біполярному транзисторі для частоти 706 МГц шумова температура приймача $T_{ш. пр.}$ не буде перевищувати 120 К. Отже $N_0 = k(T_a + T_{ш. пр.}) = 1,38 \cdot 10^{-23}(400 + 120) = 7,176 \cdot 10^{-21}$ Дж. $P_{ш} = N_0 \cdot \Delta f_{пр} = 7,176 \cdot 10^{-21} \cdot 8 \cdot 10^6 = 5,7 \cdot 10^{-14}$ Вт.

Таким чином, потужність корисного сигналу на вході приймача не повинна бути меншою за значення $P_{с.вх.мін} = q^2 \cdot P_{ш} = 11^2 \cdot 5,7 \cdot 10^{-14} = 7 \cdot 10^{-12}$ Вт.

Визначення запасу на завмирання на інтервалі радіолінії. При проектуванні та експлуатації ЦРЛ необхідно визначити максимально можливе сумарне послаблення сигналу $V_{мін}^2$, а також середню потужність сигналу на вході приймача $P_{с.вх.}(50\%)$, нижче якої потужність на вході приймача буде знижуватись не більше 50% часу будь-якого місяця: $P_{с.вх.мін} = P_{сo} \cdot V_{мін}^2$; $P_{с.вх.}(50\%) = P_{сo} \cdot V_{\Sigma}^2(50\%)$. Значення потужності сигналу на вході приймача при розповсюдженні у вільному просторі $P_{сo}$ можна розрахувати, виходячи з формули, яка практично є аналогом виразу :

$$P_{сo} = \frac{P_{вих.пd} \cdot G_1 \cdot G_2 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2 R_0^2},$$

де $P_{вих.пd}$ - потужність передавача;

η_1, η_2 - коефіцієнти корисної дії антенно-фідерного передавального та приймального трактів;

G_1, G_2 - коефіцієнт підсилення передавальної та приймальної антен.

Коефіцієнт корисної дії антенно-фідерного тракту пов'язаний із втратами корисного сигналу і може визначатися з виразу : $\alpha_{afm} = 10 \lg \eta_{afm}$. Втрати корисного сигналу складаються із втрат у розподільчих пристроях α_{pn} , які зазвичай не перевищують 0,1, ..., 0,2 дБ на кожний пристрій розподілу та втрат у фідерах

$$\alpha_{\text{зафм}} = l_{\phi} \cdot k_3,$$

де l_{ϕ} – довжина фідера; $l_{\phi A} = 153 \text{ м}$, $l_{\phi B} = 10 \text{ м}$.

k_3 – погонне затухання на 1 м довжини фідера.

Для випадку використання коаксіального кабелю можливо прийняти $k_3 = 0,08 \text{ дБ/м}$, а сумарні втрати на розгалуження високочастотного сигналу $\alpha_{pn} = 1 \text{ дБ}$, тоді

$$\alpha_{\text{зафТА}} = l_{\phi A} \cdot k_3 = 153 \cdot 0,08 = 12,24 \text{ дБ}$$

$$\alpha_{\text{зафТВ}} = l_{\phi B} \cdot k_3 = 10 \cdot 0,08 = 0,8 \text{ дБ}$$

$$\alpha_{\text{афТА}} = \alpha_{\text{зафТА}} + \alpha_{pn} = 12,24 + 0,5 = 12,74 \text{ дБ}$$

$$\alpha_{\text{афТВ}} = \alpha_{\text{зафТВ}} + \alpha_{pn} = 0,8 + 0,5 = 1,3 \text{ дБ}$$

Тоді коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{афт}} = 10^{-\alpha_{\text{афт}}/10}$ антенно-фідерного передавального тракту дорівнює $\eta_1 = 0,05$, а приймального тракту $\eta_2 = 0,74$. Коефіцієнти підсилення передавальної та приймальної антен $G_1 = 10 \text{ дБ} = 10$ разів, $G_2 = 9,7 \text{ дБ} = 9,3$ разів, а потужність передавача складає 1 кВт, тоді:

$$P_{CO} = \frac{P_{\text{перед}} \cdot G_1 \cdot G_2 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2 R_0^2} = \frac{1000 \cdot 10 \cdot 9,3 \cdot 0,05 \cdot 0,74 \cdot 0,425^2}{(4\pi)^2 \cdot 27500^2} = 5,2 \cdot 10^{-9} \text{ Вт.}$$

Отже потужність сигналу на вході приймача при розповсюдженні у вільному просторі дорівнює $P_{CO} = 5,2 \cdot 10^{-9} \text{ Вт}$. Отже максимально можливе сумарне послаблення сигналу. $P_{\text{с.вх.мін}} = P_{CO} \cdot V_{\text{мін}}^2$

$$P_{\text{с.вх.мін}}/P_{CO} = V_{\text{мін}}^2$$

$$V_{\text{мін}} = 10 \log V_{\text{мін}}^2 = -29,2 \text{ дБ.}$$

Таким чином, потужність сигналу на вході приймача складе наступні значення: $P_{\text{с.вх}}(50\%) = 2,89 \cdot 10^{-9} \text{ Вт}$; $P_{\text{с.вх.мін}} = 6,24 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}$.

Розрахуємо втрати у вільному просторі $\alpha_{\text{втр}}$:

$$\alpha_{\text{втр}} = 20 \log \left(\frac{4\pi R_0}{\lambda} \right) = 20 \log \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot 27500}{0,425} \right) = 118,2 \text{ дБ.}$$

Для розрахунку завмирання сигналу на трасі розповсюдження радіохвиль необхідно розрахувати значення рівня середньої потужності корисного сигналу на вході приймача $P_{с.вх.}(50\%)$ та мінімального значення $P_{с.вх.мін}$ за виразами:

$$P_{с.вх.}(50\%) = P_{вих.нд} - \alpha_{афмА} + 10 \lg G_1 - \alpha_{вмп} + V_{\Sigma}(50\%) + 10 \lg G_2 - \alpha_{афмВ}$$

$$P_{с.вх.мін} = P_{вих.нд} - \alpha_{афмА} + 10 \lg G_1 - \alpha_{вмп} + V_{мін} + 10 \lg G_2 - \alpha_{афмВ}.$$

$$P_{с.вх.}(50\%) = 30 - 12,74 +$$

$$+ 10 \lg 10 - 118,2 - 2,55 + 10 \lg 9,7 - 1,3 = -84,92 \text{ дБ.}$$

$$P_{с.вх.мін} = 30 - 12,74 +$$

$$+ 10 \lg 10 - 118,2 - 29,2 + 10 \lg 9,7 - 1,3 = -111,57 \text{ дБ.}$$

Як видно з проведених розрахунків, рівень середньої потужності корисного сигналу на вході приймача $P_{с.вх.}(50\%)$ є вищим ніж мінімально необхідне значення для передачі інформації із заданими показниками якості. Запас на завмирання сигналу складає:

$$Z = 10 \lg \left(\frac{P_{с.вх.}(50\%)}{P_{ш}} \right) - 10 \lg \left(\frac{P_{с.вх.мін}}{P_{ш}} \right) = P_{с.вх.}(50\%) - P_{с.вх.мін} =$$

$$= -84,92 + 111,57 = 26,65 \text{ дБ.}$$

Таким чином, довжина радіолінії склала 27,5 км. При розташуванні антени передавача на висоті 153 м а приймача – 10 м, траса розповсюдження радіохвиль видалась напіввідкритого типу з однією суттєвою перепоною на відстані 24,8 км. Проведені розрахунки показали, що сумарне послаблення корисного сигналу на трасі складає приблизно 162 дБ. При застосуванні відповідних антен та передавача з вихідною потужністю 1кВт та приймача із загальною шумовою температурою близько 400К, мінімально необхідне значення потужності сигналу на вході приймача складе $P_{с.вх.мін} = 7 \cdot 10^{-12}$ Вт, а максимальне припустиме послаблення сигналу, порівняно із послабленням у вільному просторі, $V_{мін} = -29,2$ дБ. Запас на завмирання сигналу склав 26,65 дБ.

При обраних параметрах ЦРЛ забезпечується передача цифрового потоку даних з припустимою похибкою передачі символів не більше ніж 10^{-6} .

Стійкість і якість телевізійного сигналу дуже сильно залежить від умов прийому (від місця розташування самої приймальної антени). Адже навіть цифровий телевізійний сигнал будь-якого формату передається все тією ж радіохвилею високої частоти, яка поширюється в дециметровому діапазоні практично прямолінійно і зазнає значного ослаблення при проходженні через перешкоди. Як наочний приклад можна навести випадок, коли прийом сигналу взимку і влітку дуже відрізняється, коли в напрямку на телевежу стоїть високе дерево з густою кроною. А це означає, що з місця установки приймальної антени для впевненого прийому повинна бути зона прямої видимості на передавальну телевежу.

Для прийому цифрового ефірного телебачення антена повинна бути гостроспрямованою, приймати сигнал тільки в дециметровому діапазоні і не вносити в сигнал додаткових фазових спотворень. Більше ніякої особливої різниці між антенами для цифрового телебачення і аналогового прийому в дециметровому діапазоні в принципі немає.

3.4 Розробка рекомендацій для покращення якості сигналу цифрового телебачення стандарту DVB-T2 у Житомирському районі

Сигнал цифрового ефірного мовлення стандарту DVB-T2 покриває практично всю територію України. Мовлення DVB-T2 виконується в ДМХ діапазоні, всього можна прийняти 32 телеканали, які розділені на 4 частотних пакети каналів (мультиплекси). Кожен з 4-х FTA мультиплексів «МХ-1», «МХ-2», «МХ-3» і «МХ-5» містить по 8 каналів. Передавачі (або телевежі) розосереджені по всіх регіонах країни, вони встановлювалися виходячи з наявної інфраструктури і з метою максимального покриття сусідніх територій. З

розташуванням передавачів, з яких приймається сигнал у Львівській області, можна ознайомитися тут. Крім фізичних координат дана таблиця містить частотні канали (мультиплекси) і радіус покриття для кожного передавача. У багатьох регіонах DVB-T2 передавачі встановлені на раніше експлуатованій інфраструктурі, тому, якщо вже залежить від антени для прийому аналогового ефірного мовлення, с високою часткою ймовірності вона зможе успішно прийняти і DVB-T2 сигнал. У такому випадку для його прийому досить тільки придбати DVB-T2 ресивер або телевізор із вбудованим T2 тюнером [39].

Причини послаблення цифрового сигналу:

а) Через антену, яка погано приймає ДМХ-діапазон, а більше розрахована на МХ-діапазон, в якому і працювали добре 4-5 каналів в аналоговому форматі. У такому випадку необхідна інша ДМХ-антена, яка буде більш ефективна для прийому цифрового T2 сигналу. Вибрати можна тут. Врахуйте, чим далі місце прийому від вишки-передавача, тим більший коефіцієнт посилення повинен бути у антени і тим вище від земної поверхні вона повинна розташовуватись. Тому, кімнатні антени в області можуть не працювати.

б) Передавач, з якого ведеться аналогове мовлення не роздає DVB-T2 сигнал. Тоді слід дізнатися, по вище вказаним посиланням, де знаходиться найближчий передавач і зорієнтувати антену в його напрямку.

в) Антена встановлювалася давно, аналогове і цифрове мовлення раніше працювало добре, але з часом перестало приймати будь-якої сигнал. Слід покроково, від самої антени до кінцевої точки підключення (ресивер), переглянути всі контакти (з'єднання), і якщо є окислення на роз'ємах або обриви в кабелі, прибрати їх або повністю замінити. Дуже НЕ рекомендується використання так званого "радянського" чорного кабелю, оскільки він має великий коефіцієнт затухання сигналу в ДМВ діапазоні, та й експлуатується вже кілька десятиків років. Слід замінити його на сучасний кабель типу RG-6 [5].

г) На антені є підсилювач і він не працює. Потрібно виконати діагностику, щоб визначити - вийшов з ладу підсилювач ТВ антени чи він не підключений до джерела живлення. Подача живлення можлива через телевізійний кабель від

блоку живлення або від самого T2 ресивера. У разі виходу з ладу підсилювача потрібно його заміна на подібний по характеристикам.

Отже, проблеми та можливості оптимізації прийому DVB-T2 можуть виникати через різноманітні фактори, включаючи технічні обмеження, електромагнітні перешкоди, топографію місцевості та інші аспекти. Важливо вирішувати ці питання для забезпечення стабільного та якісного прийому сигналу. Оптимізація прийому DVB-T2 вимагає комплексного підходу та врахування конкретних умов місцевості для забезпечення стабільної та якісної роботи системи передачі.

Велика відстань від передавача та наявність перешкод буде вимагати встановлення більш чутливих антен або підсилювачів сигналу, орієнтація антени в напрямку передавача. А також зменшення впливу інших пристроїв, що створюють перешкоду, через використання екранування або застосування фільтрів для послаблення заважаючого сигналу.

Відбиття сигналу від об'єктів або перешкод обумовлює явище багато променевості, що може бути усунене використанням технік MIMO, що забезпечить покращення якості сигналу через мінімізація впливу об'єктів.

Таким чином, покращення якості приймання сигналу DVB-T2 досягається рядом факторів. Це використання антенних систем з високою спрямованістю та підвищеною стійкістю до зовнішніх впливів, а також розміщення антени на високих точках для забезпечення умов прямої видимості. Використання підсилювачів сигналу, настройка та орієнтація антени відповідно до напрямку передавача. Застосування технік MIMO для покращення прийому в умовах багато променевості та встановлення фільтрів для зменшення впливу електромагнітних перешкод.

ВИСНОВКИ

Стандарт цифрового телебачення DVB-T2 використовує високоефективні методи компресії сигналу для забезпечення якісного відтворення відео та аудіо при передачі по обмеженому діапазону частот. Використовуються ефективні схеми модуляції для передачі даних, що дозволяє оптимально використовувати обмежену ширину смуги та частотний ресурс для одночасної передачі великої кількості телевізійних каналів.

Зростання покриття мережі DVB-T2 не лише розширює доступність, але також впливає на якість сигналу у точці приймання. Це особливо важливо в сільських та віддалених районах, де покриття може бути обмеженим, тому доцільно проводити апріорні розрахунки якості сигналу DVB-T2 для визначених умов розповсюдження в межах зони покриття.

Метою роботи є дослідження якості сигналу цифрового телебачення стандарту DVB-T2 у Житомирському районі. Для досягнення цієї мети у роботі розглянуті технічні характеристики та принципи роботи стандарту DVB-T2.

Для оцінки якості сигналу DVB-T2 розглянуто ряд методів, що враховують різні аспекти передачі сигналу та запропоновано як показник якості приймання сигналу використовувати значення запасу на завмирання сигналу у точці розташування приймача.

Визначення якості сигналу цифрового телебачення стандарту DVB-T2 було проведено для випадку приймання сигналу у с. Барашівка Житомирського району на несучій частоті 50 каналу DVB-T2 із модуляцією сигналу - QPSK у смузі 8МГц. Передавання сигналу здійснювалось з РТПС с. Андріївка Черняхівського району з використанням передавальної антени типу «Kathrein 750-10067».

За допомогою програмного продукту «Google Earth» було визначено, що довжина радіолінії складає 27,5 км. А при розташуванні антени передавача на висоті 153 м та приймача – на висоті 10 м, траса розповсюдження радіохвиль видалась напіввідкритого типу з однією суттєвою перепоною на відстані 24,8 км. Проведені розрахунки показали, що сумарне послаблення корисного сигналу на

трасі складає приблизно 162 дБ . При застосуванні відповідних антен та передавача з вихідною потужністю 1 кВт та приймача із загальною шумовою температурою близько 400 К , мінімально необхідне значення потужності сигналу на вході приймача склало $P_{\text{с.вх.мін}} = 7 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}$, а максимальне припустиме послаблення сигналу, порівняно із послабленням у вільному просторі, $V_{\text{мін}} = -29,2 \text{ дБ}$. Запас на завмирання сигналу склав $26,65 \text{ дБ}$.

Таким чином, приклад розрахунку запасу на завмирання сигналу за запропонованою методикою довів, що, при визначених параметрах ЦРЛ забезпечується передача цифрового потоку даних з припустимою похибкою передачі символів не більше ніж 10^{-6} .

У результаті проведених досліджень рекомендовано, у разі погіршення якості сигналу, використання антенних систем з високою спрямованістю та підвищеною стійкістю до зовнішніх впливів, а також розміщення антени на високих точках для забезпечення умов прямої видимості і використання підсилювачів сигналу та встановлення фільтрів для зменшення впливу електромагнітних перешкод. Налаштування та орієнтація антени відповідно до напрямку на передавач і застосування технік МІМО може покращити рівень корисного сигналу в умовах багатопроменевості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андреев О.В., Нестеренко К.О., Лещинський Ю.І. Особливості передавання цифрових даних з використанням бездротових технологій. Тези VI всеукраїнської науково-технічної конференції «Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення». – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2023.
2. Одинцов Б.В., Сукачов Е.А., Гуцаюк А.К. Цифрові системи радіозв'язку: Навчальний посібник / ОЕІС ім. А.С. Попова – Одеса , 1988. – 56 с.
3. Одинцов Б.В., Сукачов Е.А. , Гуцаюк А.К. Космічний зв'язок : Навчальний посібник / ОЕІС ім. А.С. Попова – Одеса , 1989. – 56 с.
4. Прийом телебачення та радіомовлення з супутників / Д.Ю. Бем , М.Є. Ільченко , А.П. Житков, Л.Г. Гассанов. – К.: Техніка , 1992. – 176 с.
5. Красовська Ю. О. Впровадження цифрового телебачення DVB-T2 на 9 каналі в місті Дніпро / Ю. О. Красовська, В. І. Магро // Радіоелектроніка, інформатика, управління. - 2017. - № 1. - С. 7-15.
- 6.Баляр В. Б. Порівняльна характеристика систем цифрового наземного телевізійного мовлення у стандартах DVB-T/T2 / В. 97 Б. Баляр, О. В. Гофайзен // Цифрові технології. - 2012. - Вип. 11. - С. 31- 46.
7. Баляр В. Б. Суб'єктивно-статистична оцінка технічної якості роботи системи DVB-T2 на рівні транспортного потоку / В. Б. Баляр // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. : Нові рішення в сучасних технологіях. - 2013. - № 11. - С. 58-65.
- 8.Баляр В. Б. Аналіз впливу характеристик РЧ тракту на якість функціонування трактів систем кабельного телебачення / В. Б. Баляр, В. О. Сіманько, С. А. Грінченко // Цифрові технології. - 2012. - Вип. 11. - С. 71-84.
- 9.Теорія і практика управління використанням радіочастотного ресурсу. Навчальний посібник. За ред. дтн проф. Кривуци. – К.: ДУІКТ, 2012.

10. Handbook on Computer-Aided Techniques for Spectrum Management (CAT), ITU, 2015/ Довідник з комп'ютерних методів управління спектром.
11. Головін Ю. О. Основи радіозв'язку : підручник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Політехніка, 2021. 234 с.
12. Пахтусов В. В. Основи побудови засобів радіозв'язку : навч. посіб. Київ : ВІТІ, 2004. 292 с.
13. Омелянук І. В. Цифрове ефірне телебачення. Практика, нові напрямки розвитку цифрового ефірного телебачення та створення цифрових ефірних телемереж : посібник для фахівців телебачення. Київ : ЗАО ТЕЛЕРАДІОКУР'ЄР, 2009. 192 с.
14. Ступак В. С., Долматов С. О. Основи радіочастотного контролю : практ. посіб. / за ред. Олійника В. Ф. Київ, 2004. 231 с.
15. Довгий С. О., Воробієнко П. П., Гуляєв К. Д. Сучасні телекомунікації : Мережі, технології, безпека, економіка, регулювання. 2-ге вид., доп. / за ред. Довгого С.О. Київ : Азимут-Україна, 2013. 608 с.
16. В.М.Ткачук. Радіопередавальні пристрої : навчальний посібник / С.М. Цирульник, Т.А.Петренко. – Вінниця : Т. П. Барановська, 2015. – 188 с.
17. Про електронні комунікації : Закон України від 16.12.2020 № 1089-IX. Київ : Офіційний вісник України. 2021. № 6.
18. ETSI TS 102 831 V.1.1 Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVBT2) Цифрове телевізійне мовлення (DVB). Настанови до реалізації системи цифрового наземного телевізійного мовлення другого покоління (DVB-T2).
19. ETSI EN 302 755 V1.2.1 Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2).
20. Єлісовенко, Юрій П. Радіовиробництво : навч. посіб. Київ. нац. ун-т ім. Т. Шевченка, Ін-т журналістики. — Київ : Друк. "Бізнесполіграф", 2017. — 302, [1] с. : табл. — Бібліогр.: с. 300-303 та у підрядк. прим.

21. Живі голоси України: нариси про радіожурналістів / [Упоряд. Н. М. Сидоренко]. — К. : [Вид.-полігр. центр «Київ. ун-т»], 2004. — 237 с. : портр.
22. Житомирська обласна державна телерадіокомпанія: історія, сьогодення, перспективи — Житомир : Рута, 2012. — 101 с. : іл., портр.
23. Засоби та системи технічного захисту інформації : навч. посіб. для студентів спец. 125 "Кібербезпека" спеціалізації "Системи техн. захисту інформ." / Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. — Харків : Панов А. М., 2018. — 215 с. : іл., табл. — Бібліогр.: с. 202-212.
24. Історія національного радіоефіру : Арх. матеріали (1942-1969) — К. : [Ін-т журналістики], 2004. — 115 с. — Бібліогр.: с. 114-115.
25. Історія українського телебачення: перший ефір : матеріали наук. колоквиуму, Київ, 17 листоп. 2010 р. / Київ. нац. ун-т ім. Т. Шевченка, Ін-т журналістики, Телерадіоклуб — К. : Вид-во Європ. ун-ту, 2011. — 123 с., [1] арк. фотоіл. — Бібліогр. наприкінці ст. 254
26. Капелюшний, Анатолій Олексійович. Телебачення прямого ефіру: практика мовлення, типові помилки : навч. посіб. / А. О. Капелюшний ; М-во освіти і науки України, Львів. нац. ун-т ім. І. Франка, Ф-т журналістики. — Львів : ПАІС, 2011. — 397, [1] с. — Бібліогр.: с. 391-397 та в підрядк. прим.
27. Комар, Сергій Валентинович. Радіо і решта життя. — К. : Нора-Друк, 2004. — 126, [1] с. : іл. М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Вінниц. нац. техн. ун-т. — Вінниця : ВНТУ, 2012. — 115 с. : іл., табл. — Бібліогр.: с. 114–115.
28. Кордун, В. І. Зображальна мова оператора кіно і телебачення : М-во культури і туризму України, Київ. нац. ун-т театру, кіно і телебачення ім. І. К. Карпенко-Карого. — К. : Чабаненко Ю. А., 2010. — 155 с. — Бібліогр.: с. 155 та у підрядк. приміт.
29. Коробка, Тетяна Сергіївна. В ефірі Хор Українського радіо / Тетяна Коробка. — Київ : Муз. Україна, 2015. — 157, [1] с., [8] арк. іл. — (Програма "Українська книга"). — Бібліогр.: с. 141-156 та у підрядк. прим.
30. Костюченко, О.М. Основи телевізійної журналістики : Острог : Вид-во Нац. ун-ту "Острозька акад.", 2016. — 217 с. : табл. — Бібліогр.: с. 211–217.