

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут електроенергетики
Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня магістра

студента Потакієва Олександра Олександровича
академічної групи 172м-22-1
спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
спеціалізації¹
за освітньо-професійною програмою Телекомунікації та радіотехніка

на тему "Дослідження характеристик систем цифрового телебачення на основі імітаційного моделювання"

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Проф. Гусєв О.Ю.			
розділів:				
спеціальний	Проф. Гусєв О.Ю.			
економічний	Доц. Романюк Н.М.			
Рецензент				
Нормоконтролер	Проф. Гусєв О.Ю.			

Дніпро
2023

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут електроенергетики
Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри
безпеки інформації та телекомунікацій
д.т.н., професор _____ Корнієнко В.І.
« _____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу магістра

спеціальність _____
172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і назва спеціальності)

студента _____
172М-22-1 _____ Потакієв Олександр Олександрович
(група) (прізвище ім'я по-батькові)

Тема дипломного проекту *«Дослідження характеристик систем цифрового телебачення на основі імітаційного моделювання»*

Наказ ректора НТУ "ДП" від _____ № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
<i>Стан питання. Постановка задачі</i>	Стислий огляд на систему та її функціональні можливості.	Серпень 2023
<i>Спеціальна частина</i>	Моделювання імітаційної моделі систем DVB зв'язку в середовищі Matlab для статичного порівняння якості пристроїв та дослідження їх характеристик.	Вересень 2023
<i>Економічний розділ</i>	Розрахунок капітальних витрат	Жовтень 2023

Завдання видав _____
(підпис)

Гусев О.Ю.
(прізвище, ініціали)

Завдання прийняв
до виконання _____
(підпис)

Потакієв О.О.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: 25 серпня 2023 р.

Строк подання дипломного проекту до ДЕК:

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 92 с., 68 рис., 11 табл., 3 додатки, 10 джерел.

Об'єкт дослідження: Системи цифрового зв'язку

Мета роботи: Метою роботи є проведення моделювання та порівняння характеристик систем цифрового телебачення (DVB-T, DVB-S, DVB-C, DVB-H) з акцентом на різні області їх застосування. Шляхом імітаційного моделювання будуть досліджені основні аспекти передачі сигналу для кожної з цих систем, включаючи якість прийому, стійкість до шумів та спотворень, а також аналізована пропускна здатність мереж передачі даних та затримки в передачі сигналу. Отримані результати дозволять порівняти різні системи DVB і визначити їхню ефективність у відповідних сферах використання, таких як ефірне, кабельне, супутникове та мобільне телебачення.

Методи розробки: Включають літературний огляд, моделювання сигналу, дослідження якості прийому, стійкість до шумів та спотворень, аналіз пропускної здатності мережі та затримок в передачі сигналу.

ABSTRACT

Explanatory note: 92 p, 68 fig., 11 table, 3 supplement, 10 source.

The object of research: Digital communication systems

Purpose of work: The aim of the work is to simulate and compare the characteristics of digital television systems (DVB-T, DVB-S, DVB-C, DVB-H) with an emphasis on different areas of their application. The main aspects of signal transmission for each of these systems, including reception quality, noise and distortion resistance, as well as data network capacity and signal transmission delays will be investigated through simulation modelling. The results will allow for a comparison of different DVB systems and the determination of their performance in relevant applications such as terrestrial, cable, satellite and mobile television.

Development methods: Include literature review, signal modelling, reception quality, noise and distortion immunity, network capacity and signal delay analysis.

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

DVB-T – (*Digital Video Broadcasting — Terrestrial*) Цифрове наземне відеомовлення.

DVB-S – (*Digital Video Broadcasting – Satellite*) Цифрове супутникове мовлення), це стандарт супутникового телебачення.

DVB-C – (*Digital Video Broadcasting – Cable*) цифрове відео мовлення - кабельне") - європейський стандарт цифрового телебачення, що охоплює мовлення цифрового телебачення за допомогою кабелю.

DVB-H- (*Digital Video Broadcasting – Handheld*) – європейський стандарт мобільного телебачення.

MPEG – Група експертів з роботи зі зображеннями та відео (*Moving Picture Experts Group*) - набір стандартів для стиснення відео та аудіо.

ETSI – Європейський інститут зі стандартизації телекомунікацій (*European Telecommunications Standards Institute*) - організація, що розробляє стандарти для телекомунікаційних технологій.

QAM – Квадратурна амплітудна модуляція (*Quadrature Amplitude Modulation*) – метод модуляції сигналу, що використовує як амплітуду, так і фазу для кодування інформації.

M-QAM – M-квадратурна амплітудна модуляція - розширена версія QAM зі змінною кількістю символів.

COFDM – Кодована ортогональна частотно-дільницева модуляція (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) - метод модуляції для передачі даних через радіохвилі.

SFN – Одноконтурна мережа зв'язку (*Single Frequency Network*) - конфігурація мережі для однакової частоти передачі на різних передавачах.

OFDM – Ортогональна частотно-дільницева модуляція (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) - метод модуляції для передачі даних через радіохвилі.

APУ – Автоматичний регулятор напруги (Automatic Voltage Regulator) - пристрій для стабілізації напруги.

ДПФ – Дискретний перетворювач Фур'є (Discrete Fourier Transform) - метод аналізу сигналів у частотному домені.

FEC – Корекція помилок (Forward Error Correction) - технологія для виявлення та виправлення помилок в переданому сигналі.

QPSK – Квадратурна фазова зміщеність з двома бітами на символ (Quadrature Phase Shift Keying) - метод модуляції для передачі даних.

ТВЧ – Технічний вміст (Technical Content) - інформація або деталі, специфічні для технічних аспектів.

VCM – Змінна частотна модуляція (Variable Carrier Modulation) - метод модуляції, де частота сигналу може змінюватися.

ACM – Змінна констеляція відповідно до каналу (Adaptive Modulation and Coding) - технологія, яка дозволяє адаптувати модуляцію і корекцію помилок в залежності від умов каналу.

LDPC – Коди з низькою густиною перевірки парності (Low-Density Parity-Check) - тип корекції помилок в передачі даних.

VSN – Віддалена синхронізація мережі (Virtual Synchronous Network) - метод синхронізації мережі.

АЦП – Аналого-цифровий перетворювач (Analog-to-Digital Converter) - пристрій, який перетворює аналоговий сигнал у цифровий.

GPS – Глобальна система позиціонування (Global Positioning System) - система навігації на основі супутникової технології.

MPE-FEC – Кодування з корекцією помилок для мультіплексування пакетів (Multi-Protocol Encapsulation with Forward Error Correction) – технологія корекції помилок для передачі пакетів даних.

BER – Відношення кількості помилкових бітів до загальної кількості бітів (Bit Error Rate) – міра якості передачі даних.

AWGN – Аддитивний білий гауссівський шум (Additive White Gaussian Noise) – модель шуму, яка використовується для аналізу передачі сигналів.

SNR – Відношення сигнал-шум (Signal-to-Noise Ratio) – міра якості сигналу відносно рівня шуму.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	11
1.1 Опис цифрового телевізійного мовлення	11
1.2 Основні переваги та недоліки цифрового мовлення	12
1.3 Функціональні можливості DVB-(T,S,C,H).....	14
1.4. Цифрове наземне телебачення в Європі та Україні	15
1.4.1 DVB-T	15
1.4.2 DVB-S.....	15
1.4.3 DVB-C	15
1.4.4 DVB-H.....	16
1.5. Стандарт наземного ТВ-мовлення DVB-T	16
1.5.1 Базові принципи	22
1.5.2 Обробка сигналів у передавальній частині системи DVB-T.....	23
1.5.3 Базовий варіант DVB-T приставки на основі STi7109	30
1.6. Стандарт супутникового мовлення DVB-S.....	32
1.7 DVB-C.Стандарт цифрового кабельного телебачення.....	39
1.8 DVB-H. Стандарт цифрового мобільного телевізійного мовлення.....	44
1.9 Постановка задачі.....	52
1.10 Висновки.....	52
РОЗДІЛ II. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	54
2.1. Імітаційне моделювання системи цифрового наземного наземного телевізійного мовлення DVB-T.	54
2.2 Імітаційне моделювання системи цифрового супутникового телевізійного мовлення DVB-S і системи високошвидкісного цифрового супутникового ТВ-мовлення DVB-S2.	58
2.3 Імітаційне моделювання системи цифрового кабельного телевізійного мовлення DVB-C	64
2.4 Імітаційне моделювання системи цифрового мобільного мобільного телевізійного мовлення DVB-H.....	71

2.5 Висновки	80
РОЗДІЛ III. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	82
3.1. Визначення обсягу робіт із розробки моделей	82
3.1.1 Розрахунок витрат на розробку моделі	83
3.2 Розрахунок капітальних витрат	85
3.3 Висновки	86
ВИСНОВКИ	87
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	88
ДОДАТОК А. ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ	89
ДОДАТОК Б. ВІДГУК КЕРІВНИКА ЕКОНОМІЧНОГО РОЗДІЛУ	90
ДОДАТОК В. ВІДГУК КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ	91

ВСТУП

Сучасний світ постійно рухається вперед, завдяки неперервному розвитку технологій. Інформаційні технології відіграють ключову роль у цьому процесі, впливаючи на різні сфери життя. Однією з таких галузей є телекомунікаційна індустрія, яка здійснює постійну адаптацію до нових вимог та можливостей.

Цифрове телебачення є однією з найбільш важливих та впливових галузей телекомунікаційної сфери. Його здатність передавати великий обсяг інформації в компактному форматі визначає новий рівень доступності та якості телевізійного контенту. Ця технологія відкриває безмежні можливості для глобальної комунікації та розвитку медійного простору.

Об'єктом нашого дослідження є системи цифрового телебачення, такі як DVB-T, DVB-S, DVB-C та DVB-H, які є критично важливими у структурі телекомунікаційної інфраструктури. Вони забезпечують можливість перегляду телевізійного контенту різних жанрів та напрямків у різних частинах світу.

Мета даної дипломної роботи полягає в дослідженні характеристик цих систем через використання імітаційного моделювання. Ми спрямовуємо свої зусилля на аналіз якості передачі сигналу, стійкості до шумів та спотворень, а також пропускну здатності мереж передачі даних. Шляхом порівняння різних стандартів, ми маємо намір визначити їх переваги та обмеження у різних сферах застосування.

Отримані результати можуть виявитися корисними для подальшого розвитку технологій цифрового телебачення та покращення якості телевізійного контенту для споживачів.

РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Опис цифрового телевізійного мовлення

Цифрове телевізійне мовлення (ЦТМ) є сучасною технологічною парадигмою телевізійної передачі, що забезпечує якісний та ефективний спосіб отримання телевізійного контенту для глядачів у всьому світі. Зокрема, стандарти цифрового телебачення (DVB – Digital Video Broadcasting) включають DVB-T, DVB-S, DVB-C та DVB-H, які пропонують різні підходи до передачі цифрового відео та аудіо змісту.

DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial) використовує земні передачі для розповсюдження телевізійного сигналу. Цей стандарт передбачає використання високоефективних алгоритмів компресії для зменшення обсягу даних, що дозволяє вміщати більше каналів на обмеженому частотному ресурсі.

DVB-S (Digital Video Broadcasting – Satellite) використовує супутникові передачі для поширення телевізійного вмісту. Цей стандарт є особливо корисним для широкого покриття, так як супутникові сигнали можуть долати значні відстані.

DVB-C (Digital Video Broadcasting – Cable) використовує кабельні мережі для розповсюдження телевізійних каналів. Цей підхід дозволяє високу якість сигналу та широкий спектр послуг завдяки великій пропускній здатності кабельних мереж.

DVB-H (Digital Video Broadcasting – Handheld) розроблений для мобільних пристроїв, таких як смартфони та планшети. Він надає можливість динамічно адаптуватися до зміни умов передачі сигналу, забезпечуючи якісний перегляд на портативних пристроях.

Кожен зі стандартів DVB має свої унікальні переваги та застосування, але спільною є їхня спроможність забезпечити ефективну та якісну передачу цифрового телевізійного вмісту для глядачів у всьому світі.

1.2 Основні переваги та недоліки цифрового мовлення

Цифрове мовлення має свої переваги щодо ефективності та недоліки, що робить його ефективним або менш придатним у різних ситуаціях.

Переваги:

1. Цифрове земне мовлення (DVB-T):
 - Ефективне використання спектру: високоефективні алгоритми компресії допомагають передавати більше каналів на обмеженому частотному ресурсі.
 - Широкий охоп: підходить для густонаселених районів без супутникових антен.
2. Супутникове цифрове мовлення (DVB-S):
 - Глобальний охоп: забезпечує доступ до телевізійного контенту віддаленим районам.
 - Висока якість: має високу якість сигналу та стійкість до спотворень.
3. Кабельне цифрове мовлення (DVB-C):
 - Велика пропускна здатність: дозволяє передавати багатоканальний вміст через кабельні мережі.
 - Стабільність сигналу: забезпечує високу якість прийому незалежно від погоди.
4. Цифрове мовлення для портативних пристроїв (DVB-H):
 - Адаптованість до руху: забезпечує якісний сигнал навіть на швидких рухах.
 - Оптимізація для мобільних пристроїв: ефективно використовує обмежені ресурси портативних пристроїв.

Недоліки:

1. Цифрове наземне мовлення (DVB-T):
 - Обмежена зона охоплення: сигнал може бути вразливим у віддалених або затінених районах.

- Вразливість до перешкод: інтерференція може погіршити якість прийому.

2. Супутникове цифрове мовлення (DVB-S)

- Вплив погоди: погана погода може спричинити втрату сигналу.
- Потребує обладнання: вимагає встановлення супутникової антени.

3. Кабельне цифрове мовлення (DVB-C):

- Залежність від кабельної інфраструктури: недоступний там, де немає кабельних мереж.

4. Цифрове мовлення для портативних пристроїв (DVB-H):

- Обмежений обсяг контенту: призначений для портативних пристроїв, тому обмежений у передачі великого обсягу контенту.

- Низька покриття в приміщеннях: сигнал може втрачати якість в приміщеннях зі скловолокном або металеву оббивкою.

Загальні характеристики різних типів DVB: DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial):

- Використовує земні передачі для розповсюдження сигналу.
- Висока ефективність компресії дозволяє передавати багатоканальний контент.

- Підтримує великий охоп у міських та придорожніх районах.

- Вразливий до перешкод та відстаней.

– DVB-S (Digital Video Broadcasting - Satellite):

- Використовує супутникові передачі для поширення сигналу.

- Підходить для глобального охопу, включаючи віддалені регіони.

- Висока якість сигналу, стійкість до зовнішніх впливів.

- Вплив погоди та встановлення супутникової антени.

– DVB-C (Digital Video Broadcasting - Cable):

- Використовує кабельні мережі для розповсюдження телевізійного вмісту.

- Велика пропускна здатність дозволяє передавати багато каналів та послуг.

- Висока якість прийому, стабільність сигналу.

- Залежність від наявності кабельних мереж.

DVB-H (Digital Video Broadcasting - Handheld):

- Розроблений для мобільних пристроїв, таких як смартфони та планшети.

- Адаптується до змінних умов передачі сигналу, включаючи рух.

- Оптимізований для ефективного використання ресурсів портативних пристроїв.

- Обмежена щодо обсягу передаваного контенту.

Кожен стандарт DVB має свої унікальні характеристики, які роблять їх підходящими для різних сценаріїв використання та умов передачі сигналів.

1.3 Функціональні можливості DVB-(T,S,C,H)

DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial): DVB-T надає можливість передачі багатоканального телевізійного вмісту через земні канали. Використовуючи високоефективні алгоритми компресії, цей стандарт дозволяє ефективно використовувати частотний спектр. Він підтримує високу якість зображення, HD та інші формати, а також цифрову аудіо передачу та електронний програмний гід.

DVB-S (Digital Video Broadcasting - Satellite): DVB-S забезпечує глобальну передачу телевізійного контенту через супутники, гарантуючи високу якість сигналу та доступність для віддалених регіонів. Він дозволяє передавати високоякісний вміст, включаючи HD формати, та надає інтерактивні послуги та програмний гід.

DVB-C (Digital Video Broadcasting - Cable): DVB-C передає багатоканальний контент через кабельні мережі, забезпечуючи велику пропускну здатність для HD та 4K вмісту. Він підтримує цифрову аудіо передачу, електронний програмний гід та інтерактивні послуги. Додатково, він може бути використаний для підключення до Інтернету.

DVB-H (Digital Video Broadcasting - Handheld): DVB-H призначений для передачі телевізійного контенту на мобільні пристрої. Цей стандарт адаптується до руху та змінних умов передачі, забезпечуючи якісний перегляд на портативних пристроях. Він ефективно використовує ресурси мобільних пристроїв та підтримує мультимедійні формати та інтерактивні функції.

1.4 Цифрове наземне телебачення в Європі та Україні

1.4.1 DVB-T

Починаючи з 2006 року, в Києві відеопотік усіх цифрових ефірних телеканалів, які брали участь у експерименті, транслювався на різних частотах. Передача проводилась у стандарті MPEG-2. Проте, до 2008–2009 років з'явилися та розпочали транслюватися канали в стандарті MPEG-4 (H.264) на частоті 714 МГц (51 ТВК). Завдяки вдосконаленому алгоритму стискування була досягнута можливість збільшити кількість каналів, які можуть бути трансльовані на одній частоті, з 6 до 10.

1.4.2 DVB-S

Друге покоління цифрового супутникового телебачення є наступником DVB-S. Цей стандарт для трансляції цифрового телебачення був розроблений у 2003 році групою DVB Project, міжнародним промисловим консорціумом. Його схвалило ETSI (EN 302 307) в березні 2005 року. Основна мета цього стандарту - поліпшити DVB-S та впровадити електронний збір новин (Digital Satellite News Gathering). Це дозволяє мобільним пристроям передавати аудіо та відео з будь-якої точки світу на телевізійні станції.

1.4.3 DVB-C

DVB-C (Digital Video Broadcasting - Cable) призначений для цифрової передачі телебачення через кабель. Він використовує MPEG-2 або MPEG-4 для цифрового аудіо- та відеопотоку, застосовуючи QAM модуляцію з кодуванням каналів. Стандарт був опублікований ETSI в 1994 році і став широко використовуваним для цифрового кабельного телебачення в Європі та світі. Він дозволяє створювати багатопрограмні цифрові потоки та

забезпечує єдиний підхід до каналного кодування, аналогічний супутниковому стандарту DVB-S, але з іншою модуляцією M-QAM від 16 до 256 позицій.

1.4.4 DVB-H

DVB-H (Digital Video Broadcasting – Handheld) – це технологія цифрового мобільного трансляційного мовлення, яка дозволяє передавати відеосигнали на мобільні телефони в режимі реального часу. Наприклад, в Італії вже використовується ця технологія в комерційних цілях. Україна також впроваджує DVB-H. З 12 січня 2008 року в Києві ця технологія працює в режимі тестування.

1.5 Стандарт наземного ТБ-мовлення DVB-T

Перехід до цифрового наземного ТБ-мовлення виявився важким завданням. Під час звичайного передавання телевізійних сигналів ефіром на якість приймання, крім атмосферних та індустріальних перешкод, сильно впливають відбиті радіохвилі (багатопроменеве приймання) і перешкоди від інших радіопередавачів, що працюють у цьому ж частотному діапазоні в сусідніх місцевостях.

Стандарт DVB-T передбачає для передавання сигналів цифрового телебачення стандартними каналами ТБ-мовлення використання COFDM. Можливі два режими, звані 8К (число несучих 6817) і 2К (число несучих 1705). Режим 8К дає змогу використовувати менші потужності передавачів, але вимагає більш продуктивних пристроїв обробки сигналів, ніж режим 2К. Параметри для обох режимів наведено в Таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри режимів 2К і 8К.

Режим модуляції	8К				2К			
Тривалість робочого інтервалу, T_r , мкс	896				224			
Частотний рознос несучих Δf , Гц	1116				4464			
Число несучих N	6817				1705			
Ширина смуги частот МГц	7,61				7,61			
Відносна тривалість захисного інтервалу Δ/T_r	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
Тривалість захисного інтервалу Δ , мкс	224	112	56	28	56	28	14	7
Тривалість символу $\Delta+T_r$, мкс	1120	1008	952	924	280	252	238	231
Максимальне видалення ТВ-передавачів в одночастотній мережі, $d=c*\Delta$, км	67,2	33,6	17	8,4	17	8,4	4,2	2,1

З наведених даних видно, що сигнал цифрового телебачення, що передається за допомогою COFDM, можна розмістити в стандартному радіоканалі аналогового ТВ-мовлення з шириною смуги частот 8 МГц, забезпечуючи між сусідніми радіоканалами захисні частотні інтервали приблизно по 0,39 МГц.

У таблиці 1.2 наведені значення швидкості передавання двійкових символів для корисної інформації та допустимого мінімального відношення сигнал/шум у радіоканалі для різних способів модуляції окремих несучих COFDM. Ці результати справедливі для обох режимів: 8К і 2К. Значення наведено для випадків приймання на стаціонарну і на мобільну антени. В

останньому випадку телевізійний приймач може бути встановлений на автомобілі або іншому транспортному засобі.

Таблиця 1.2 – Параметричні залежності в стандарті DVB-T.

Вид Модуляції	Відносна швидкість коду	Сигнал/шум,дБ		Корисна швидкість,Мбит/с			
		Стационарна,антенна	Мобільна антенна	1/4	1/8	1/16	1/32
4-ФМн	1/2	3,6	5,4	4,98	5,53	8,85	6,03
4-ФМн	2/3	5,7	8,4	6,64	7,37	7,81	8,04
4-ФМн	3/4	6,8	10,7	7,46	8,29	8,78	9,05
4-ФМн	5/6	8	13,1	8,29	9,22	9,76	10,05
4-ФМн	7/8	8,7	16,3	8,71	9,68	10,25	10,56
16ФМн	1/2	9,6	11,2	9,95	11,06	11,71	12,06
16ФМн	2/3	11,6	14,2	13,27	14,75	15,61	16,09
16ФМн	3/4	13	16,7	14,93	16,59	17,56	18,10
16ФМн	5/6	14,4	19,3	16,59	18,43	19,52	20,11
16ФМн	7/8	15	22,8	17,42	19,35	20,49	21,11
64ФМн	1/2	14,7	16,0	14,93	16,59	17,56	18,10
64ФМн	2/3	17,1	19,3	19,91	22,12	23,42	24,13
64ФМн	3/4	18,6	21,7	22,39	22,39	24,88	27,14
64ФМн	5/6	20	25,3	24,88	27,55	29,27	30,16
64ФМн	7/8	21	27,9	26,13	29,03	30,74	31,67

Зіставляючи числа, наведені в таблиці 1.2, зі значеннями швидкості передавання двійкових символів, що відповідають різним рівням якості відтвореного зображення під час стиснення за стандартом MPEG-2, можна обирати способи модуляції несучих і значення захисних інтервалів, які забезпечують передавання потрібної кількості ТВ-програм із заданою якістю зображення.

Стандарт DVB-T передбачає можливість використання ієрархічної модуляції. Сутність цього методу полягає в тому, що цифровий потік, який

передається, розбивається на два потоки. Перший потік (із вищим пріоритетом) передається з більш високою завадостійкістю, і в ньому переноситься найбільш значуща частина інформації. Другий потік, що має нижчий пріоритет, передається з меншою завадостійкістю. У разі використання профілів MPEG-2, що мають масштабованість, перший потік може відповідати базовому шару даних, а другий потік - додатковому. Ієрархічна модуляція дає змогу передавати можливість приймати телевізійні програми, хоча і зі зниженою якістю зображення, за несприятливих умов, наприклад, на значній відстані від передавача або за наявності суттєвих завад, а також на переносні завад, а також на переносні ТВ-приймачі.

Ще одна особливість стандарту DVB-T – можливість побудови одночастотної мережі телевізійного мовлення (Single Frequency Network - SFN), у якій сусідні передавачі можуть одночасно мовити на одній несучій частоті. SFN), у якій сусідні передавачі можуть одночасно мовити на одній несучій частоті, синхронно передаючи одну й ту саму ТВ-програму, причому, області приймання їхніх сигналів перекриваються.

У цих зонах, завдяки застосуванню COFDM, наявність сигналів від двох передавачів не тільки не погіршує якість приймання, але, навпаки, дає змогу поліпшити прийом за рахунок складання двох сигналів. Використання одночастотної мережі дає змогу охопити наземним ТВ-мовленням велику територію з використанням відносно малопотужних передавачів.

Однією з основних вимог до стандарту ефірного мовлення була максимальна уніфікація з попередніми стандартами супутникового та кабельного мовлення [7.8.2.]. Цю спадкоємність добре видно на структурній схемі кодера DVB-T, наведеній на рис. 1.1



Рисунок 1.1 – Структурна схема кодера

Початкові етапи опрацювання цифрового сигналу, пов'язані з кодуванням, включно із зовнішнім кодуванням кодом Ріда-Соломона, згортковим переміщенням і згортковим кодуванням, тотожні DVB-S. Інші елементи специфічні для OFDM. Увімкнений після згорткового кодера внутрішній переміжувач призначений для компенсації наслідків селективних завмирань у каналі з багатопрореневістю, від яких не рятує введення захисних інтервалів.

Щоб уникнути випадання відразу декількох бітів, дані за несучими розподіляють із частотним переміщенням, так що сусідні біти виявляються рознесеними за частотою і не потрапляють у смугу селективного завмирання. Переміщення здійснюється у два етапи, як показано на рис.1.2:

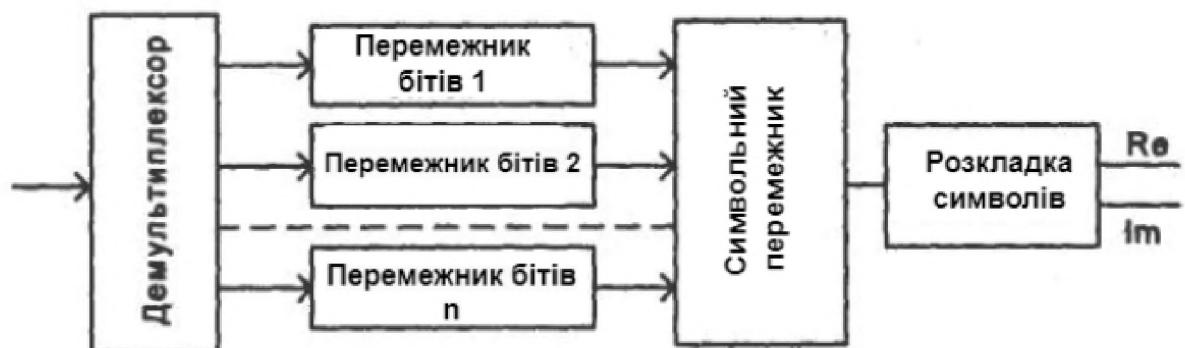


Рисунок 1.2 – Переміщення в стандарті DVB-T

Модуляція OFDM несучих кодованими сигналами в модуляторі відбувається відповідно до обраного виду модуляції та маніпуляційного коду.

Роль багаточастотного модулятора виконує інтегральна мікросхема зворотного перетворення Фур'є (рис.1.3):

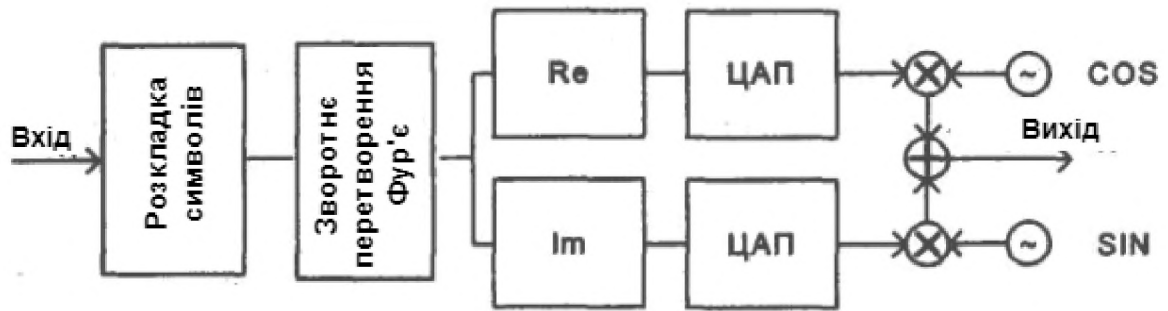


Рисунок 1.3 – Модуляція OFDM у стандарті DVB-T

Отримані комплексні значення коефіцієнтів розділяються на дійсну і уявну частини і надходять на цифро-аналогові перетворювачі. Речова частина множиться на косинусоїдальну компоненту несучої частоти, уявна частина - на синусоїдальну, і обидва спектри складаються. Структурна схема приймального тракту цифрового телебачення за стандартом DVB-T показана на рис. 1.4:



Рисунок 1.4 – Структурна схема приймального тракту у стандарті DVB-T

Структурна схема приймального тракту у стандарті DVB-T складається з наступних блоків:

1 Вибір потрібного частотного каналу і перенесення його сигналу на проміжну частоту (ПЧ).

2 Підсилювач сигналу, керований сигналом Автоматичного регулювання підсилювання (АРУ).

3 Аналого-цифровий перетворювач (АЦП), який перетворює аналоговий сигнал на цифрову форму.

4 Квадратурна демодуляція, що виділяє квадратурні складові сигналу COFDM, відповідні дійсній та уявній частинам.

5 Пряме дискретне перетворення Фур'є (ДПФ) отриманих квадратурних складових для демодуляції COFDM і відновлення переданих символів.

6 Блок корекції каналу, де аналізуються прийняті пілот-сигнали для оцінки передавальної функції каналу зв'язку.

7 Корекція каналу – сигнал кожної несучої множиться на величину, зворотну значенню знайденої передавальної функції каналу для цієї несучої.

8 Депереміщення та збірка бітів - операція, зворотна розкладці бітів за символами.

9 Блок корекції помилок, який виконує корекцію помилок, що виникли в процесі передачі даних.

10 Подальші операції обробки і відтворення сигналу для отримання вихідного відео- та аудіосигналу.

1.5.1 Базові принципи

Стандарти DVB спрямовані на сумісність та покращення якості сигналу. Новий метод передбачальної помилкової корекції (FEC) у DVB-T2 забезпечує кращу захищеність сигналу, що дозволяє збільшити пропускну здатність каналу на близько 30%.

У розробці DVB-T2 розглядались різні варіанти модуляції, і був обраний варіант OFDM з захисними інтервалами (GI-OFDM), що вже використовується в DVB-T. У цьому методі символи передаються через багато ортогональних несучих, які модулюються за фазою та амплітудою. DVB-T має два режими: 2К і 8К, які відображають розмірність БПФ, використовуюваного для формування сигналу. Фактична кількість використовуваних несучих дещо менше.

Для захисту сигналів від спотворень в умовах багатолучівого поширення, DVB-T використовує дублювання кінця кожного символу в захисному інтервалі, перед передачею цього символу. Довжина захисного інтервалу обирається в залежності від розрахункової протяжності ефірного тракту та інших параметрів мережі передачі. Більш довгі захисні інтервали потрібні в одночастотних мережах, де сигнали з сусідніх передавачів можуть надходити на приймач із значним запізненням щодо основного сигналу. Однак захисний інтервал також потребує додаткових ресурсів і знижує ефективну пропускну здатність каналу.

Порівняльні характеристики можливостей систем DVB-T і DVB-T2 наведені в таблиці 1.3:

Таблиця 1.3 – Порівняльні характеристики систем DVB-T і DVB-T2

	DVB-T(варіант застосований в Великобританії)	DVB-T2
Модуляція	64	256
Розмірність FFT	2	32
Захисний інтервал	1/32	1/128
FEC	2/3 CC+RC(8%)	3/5 LDPC BCH(0,3%)
Розподіл пілот-сигналів	8	1
Постійні пілот сигнали	2,6	0,35
Заголовок кадру	1%	0,7%
Смуга	Нормальна	Розширена
Пропускна здатність	24,1Мбит/с	35,9 Мбит/с

З розглянутого видно, що очікуваний теоретичний приріст пропускну здатності при застосуванні нового стандарту складе близько 49%.

1.5.2 Обробка сигналів у передавальній частині системи DVB-T

Для забезпечення сумісності пристроїв різних виробників, стандарт визначає параметри цифрового модульованого радіосигналу та описує перетворення даних і сигналів у передавальній частині системи цифрового наземного телевізійного мовлення, яке зображено на рис. 1.5:

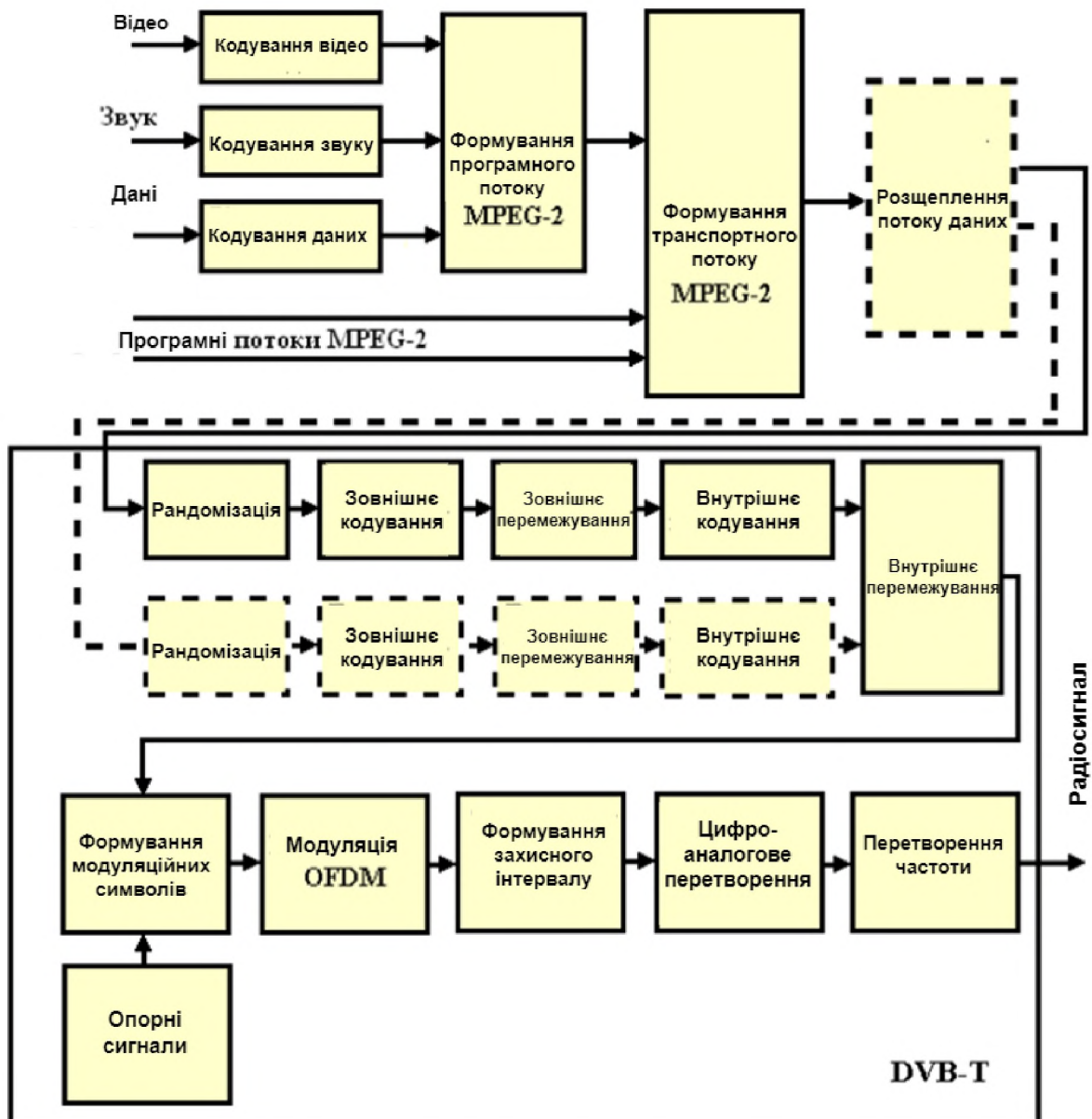


Рисунок 1.5 – Структурна схема передавальної частини системи DVB-T

Характерною особливістю DVB-T як контейнера для передачі транспортних пакетів MPEG-2 є гармонійне поєднання системи каналного кодування та методу модуляції OFDM.

Передавальна інформація (сигнали зображення, звукового супроводу, графічна та інша службова інформація) проходить стиснення та кодування (кожен вид окремо) у кодері стандартів MPEG-2/MPEG-4. Потім за допомогою мультиплексування створюється програмний потік, до якого входять як відеосигнал, так і сигнал звукового супроводу, а також, за необхідності, графічна інформація.

Декілька програмних потоків об'єднуються в транспортний потік MPEG-2/4. Потім цей потік розділяється на дві частини: одна забезпечує стійкість до перешкод, а інша - підвищену швидкість передачі. Результати кодування знову об'єднуються і розділяються на пакети по 188 байтів. Перший байт в кожному пакеті є синхробайтом, який завжди має значення 01000111 («47» у шістнадцятковому форматі).

Потім виконується обробка в каналному кодері OFDM. Сигнал піддається рандомізації, що перетворює його в псевдовипадковий сигнал. Потім йде адаптація цифрового потоку, де пакети об'єднуються в групи по вісім інвертованих синхробайтів (число 10111000, V8H).

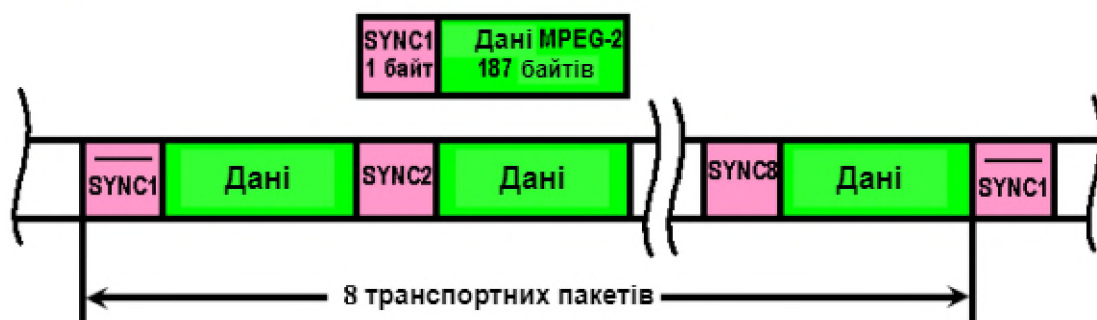


Рисунок 1.6 – Адаптація транспортних пакетів MPEG-2

Відновлення початкових даних на приймальній стороні здійснюється за допомогою такого ж генератора PRBS, який ініціалізується на початку кожної групи з восьми пакетів адаптованого транспортного потоку (початок групи позначається інвертованим синхробайтом пакета).

Зовнішнє кодування і перемішування. У системі зовнішнього кодування для захисту всіх 188 байтів транспортного пакета (включаючи байт синхронізації) використовується код Ріда-Соломона. Під час кодування до цих 188 байтів додається 16 перевірочних байтів (рис.6.4). Під час декодування на приймальній стороні це дозволяє виправляти до восьми помилкових байтів в межах кожного кодового слова довжиною 204 байти.



Рисунок 1.7 – Формування пакетів даних із захистом від помилок із пам'яттю зовнішнього коду Ріда-Соломона RS (204, 188)

Зовнішнє перемішування для захисту від помилок полягає у зміні порядку байтів у пакетах, що захищені від помилок. Це запобігає виникненню довгих помилок у сусідніх пакетах через шуми та перешкоди. При використанні системи виявлення та виправлення помилок у декодері Ріда-Соломона, вони розкидаються по різних кодових словах, що полегшує їх виправлення. У стандарті DVB 204-байтні блоки даних розподіляються по 12 послідовних блоках.

Для зовнішнього перемішування використовуються 12 сдвигових регістрів та пара комутаторів. Вони синхронно підключають регістри до вхідного та вихідного потоків з частотою слідування байтів. Затримки в гілках перемішування обрані так, щоб загальна затримка була рівною довжині кодового слова, до якого перетворюється пакет після кодування.

Пряме перемішування починається з передачі синхробайта через нульовий регістр. З кожним наступним байтом комутатори перемикаються на наступний регістр, циклічно повертаючись до початкового після 12-го регістра. На приймальній стороні деперемішування відбувається у зворотному порядку.

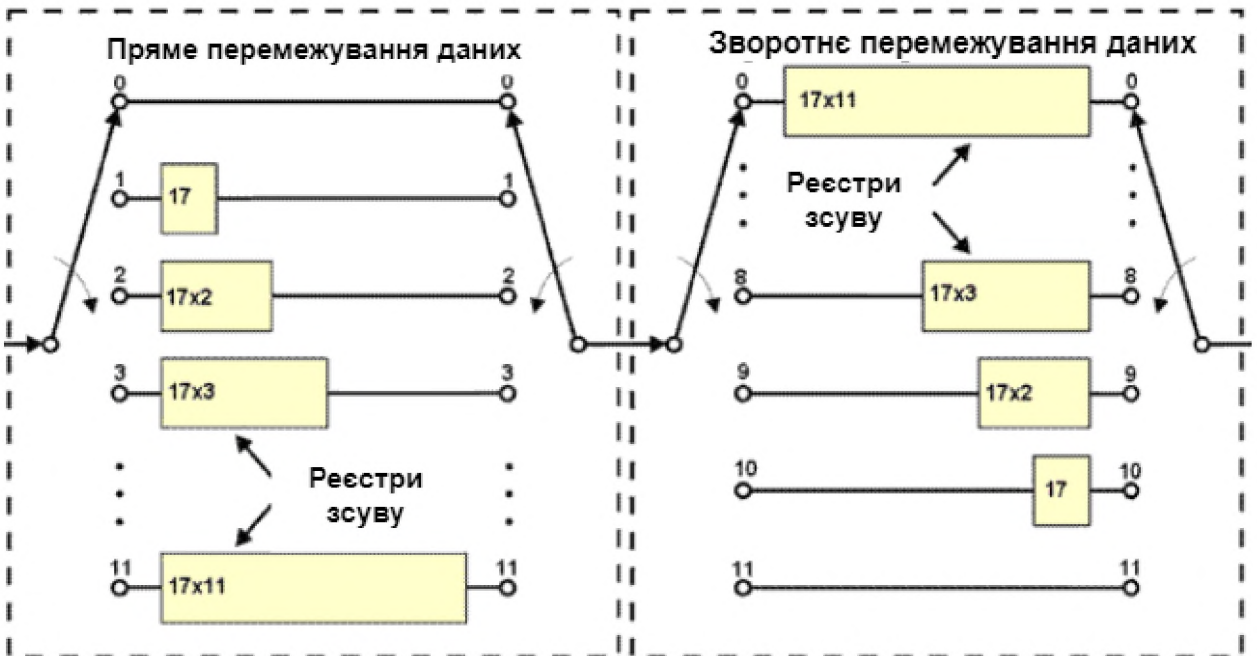


Рисунок 1.8 – Зовнішнє переміщення даних

Система мовлення DVB-T використовує внутрішнє кодування з п'ятьма швидкостями: $1/2$, $2/3$, $3/4$, $5/6$ і $7/8$. Підход внутрішнього кодування ґрунтується на сверточному кодуванні, де потік даних розбивається на кадри інформаційних символів меншої довжини. До кожного інформаційного кадру додаються перевіірочні символи для формування кадрів кодового слова.

Швидкість внутрішнього коду може змінюватися відповідно до умов передачі та вимог до швидкості. У системі DVB-T, базове кодування зі швидкістю $1/2$ використовується як основа для кодування зі змінною швидкістю. Базовий кодер складається з двох цифрових фільтрів, які створюють вихідні сигнали X і Y шляхом додавання сигналів з різних точок лінії затримки. Ці сигнали утворюють цифровий потік, де біти слідуєть один за одним вдвічі частіше, ніж на вході (швидкість $1/2$).

Змінюючи швидкість кодування, передається лише частина сигналів X і Y. Наприклад, при швидкості $2/3$, 2 вхідних біти перетворюються в 3-бітну вихідну послідовність X1, Y1, Y2. Максимальна швидкість внутрішнього коду ($7/8$) використовує вісім вихідних сигналів для семи вхідних бітів.

Такий підхід дозволяє змінювати швидкість кодування відповідно до вимог до передачі даних і забезпечує гнучкість в системі DVB-T.

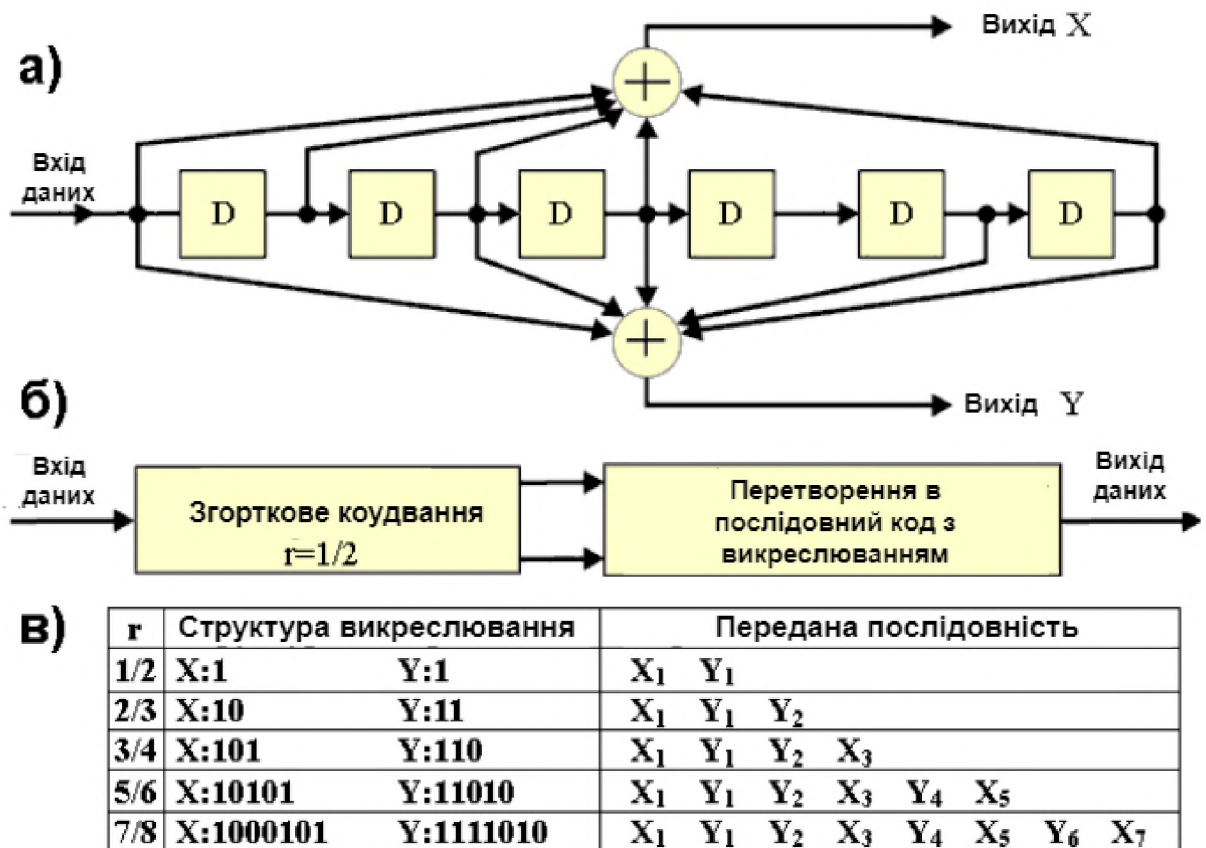


Рисунок 1.9 – Внутрішнє кодування (а – згорткове кодування зі швидкістю $r=1/2$; б – кодування з викреслюванням; в – таблиця кодування)

Так, вхідний потік даних демультимплексується на V підпотоків ($V = 2$ для QPSK, $V = 4$ для 16-QAM, $V = 6$ для 64-QAM). Потік бітів x_0, x_1, x_2 , і так далі, перетворюється в послідовність слів з V розрядів.

При QPSK два передавані біти x_0 і x_1 стають паралельним дворозрядним кодом символів, що складається з бітів $b_{0,0}$ і $b_{1,0}$, а наступні біти x_2 і x_3 перетворюються в слово $b_{0,1}$ і $b_{1,1}$, і так далі.

При 16-QAM послідовний потік бітів перетворюється в 4-розрядні слова паралельного коду: $x_0 - b_{0,0}$, $x_1 - b_{2,0}$, $x_2 - b_{1,0}$, $x_3 - b_{3,0}$, і так далі.

При 64-QAM використовується 6-розрядний паралельний код, що дозволяє знизити швидкість передачі даних в каналі зв'язку в 6 разів.

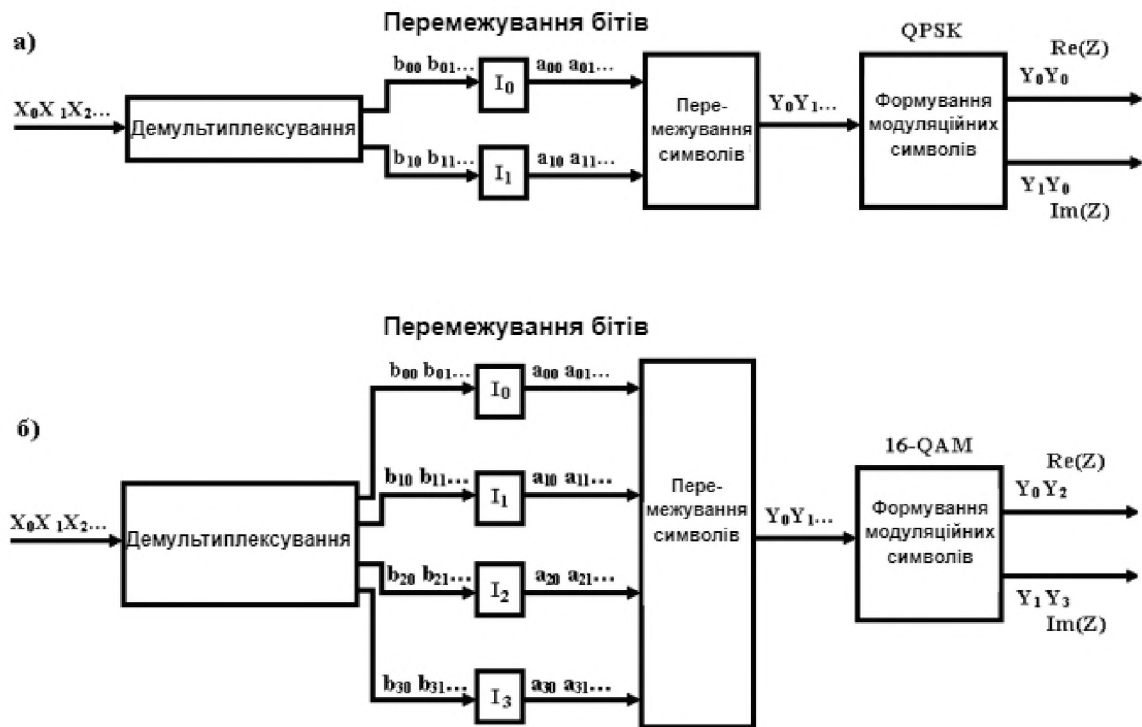


Рисунок 1.10 – Внутрішнє переміщення та формування модуляційних символів (а - QPSK, б - 16-QAM)

Перемішування бітів є блочним процесом, який відбувається в межах фіксованої області даних, яка складається з 126 бітів підпотoku (рис.6.7). Кожен перемішувач переставляє біти в межах блока: $V_i = (b_{i,0}, b_{i,1}, b_{i,2}, \dots, b_{i,125})$, утворюючи перемішаний блок: $A_i = (a_{i,0}, a_{i,1}, a_{i,2}, \dots, a_{i,125})$. Перемішуються лише корисні дані, їх кількість у кожному підпотoci максимально 6 (2 для QPSK, 4 для 16-QAM та 6 для 64-QAM). При цьому, для кожного типу модуляції здійснюється перемішування згідно відповідного правила.

Правила перестановки бітів ($w = 0, 1, \dots, 125$), за якими обчислюється індекс вихідного біта, для кожного перемішувача підпотoku мають такий вигляд:

$$I_0: H_0(w) = w;$$

$$I_1: H_1(w) = (w + 63) \bmod 126;$$

$$I_2: H_2(w) = (w + 105) \bmod 126;$$

$$I_3: H_3(w) = (w + 42) \bmod 126;$$

$$I4:H4(w) = (w + 21) \bmod 126;$$

$$I5:H5(w) = (w + 84) \bmod 126.$$

Для реалізації процесу перемішування бітів використовуються три області пам'яті розміром 126 біт. Перша область формує блок В, друга формує блок А з попереднього блока В, який знаходиться в третій області. Отже, загальний обсяг пам'яті для всіх бітових перемішувачів становить 2268 біт або близько 284 байти.

Для створення цифрового символу даних OFDM виходи пристроїв перемішування підпотоків об'єднуються, де кожен символ має v біт (слово $y'w$, де $w = 0, 1, 2, \dots, 125$), і включає один біт з виходу кожного пристрою. Значення $I0$ дає старший біт:

$$y'w = (a_{0,w}, a_{1,w}, \dots, a_{v-1,w}).$$

Символьний перемішувач реалізує перестановку слів всередині блока. В режимі 2k процес бітового перемішування повторюється 12 разів, формуючи пакет із $12 \times 126 = 1512$ цифрових символів даних, який називається символом OFDM. В режимі 8k процес бітового перемішування повторюється 48 разів, формуючи 6048 цифрових символів даних, які використовуються для модуляції 6048 несучих.

Для формування модуляційних символів, цифровий символ даних y складається з v бітів (так само як y'). Значення y використовуються для створення модуляційних символів відповідно до обраного методу модуляції. Модуляційні символи z є комплексними числами, де їх дійсна і уявна частини відображають біти y_i, q' .

У системі DVB-T модуляційні символи є комплексними. Наприклад, при використанні QPSK значенням $y_{0,q'} = 0$ і $y_{1,q'} = 0$ відповідає комплексне число $z = 1 + j$, де дійсна та уявна частини відображають амплітуди синфазної та квадратурної компонент модульованого коливання.

1.5.3. Базовий варіант DVB-T приставки на основі STi7109

На рисунку 1.14 представлений загальний вигляд приставки для прийому сигналу DVB-T з кодуванням в форматі MPEG-4. Ця схема включає:

ВЧ блок радіоканалу та COFDM демодулятор, реалізований на фірмовому чіпі ZARLINK. Він поєднує в собі ВЧ блок DVB-T приймача і COFDM демодулятор на чіпі ZL10353. В даному блоку працюють два мікропроцесори: один для тюнера (приймача) і інший для демодуляції потоку. Сигнал з антени проходить обробку на мікропроцесорі тюнера, потім передається на демодулятор, який виділяє необхідні символи та передає їх до демультимплексора транспортного потоку.

Ця схема є одним із варіантів реалізації приймального пристрою для DVB-T з кодуванням у форматі MPEG-4. Вона складається з основних компонентів, необхідних для прийому та демодуляції цифрового сигналу, який передається через технологію COFDM. Використання таких технологій забезпечує стабільний та якісний прийом цифрового сигналу з телевізійних і радіо ефірних мовних джерел.

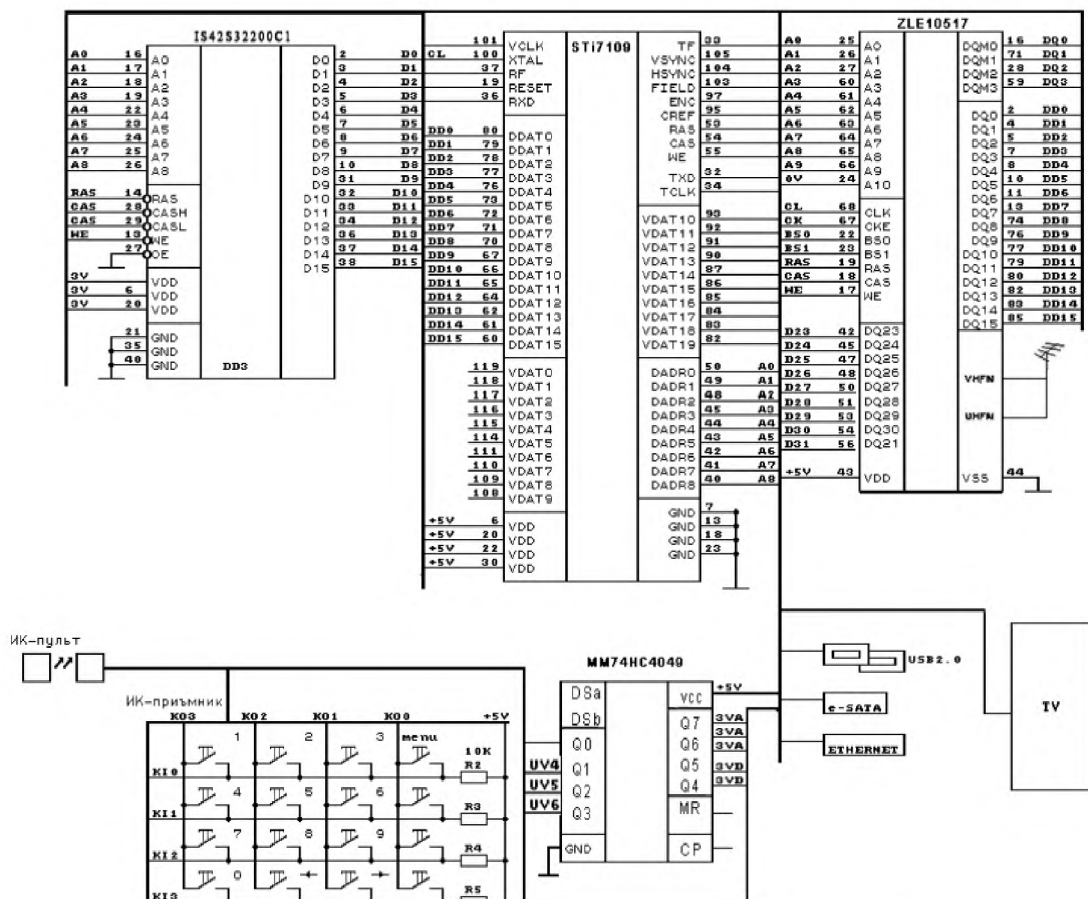


Рисунок 1.11 – Спрощена принципова схема пристрою приймання DVB-T стандарту H264

В приставці для отримання цифрового телебачення:

- Використовується чіп STi7109 для демультимплексора транспортного потоку та MPEG-декодера.

- Для тимчасового зберігання відеоданих використовується зовнішня оперативна пам'ять.

Мікроконтролер управління на мікросхемі MM74HC4049 керує режимами та обробкою сигналів з пульта управління.

Це важлива частина схеми, яка використовує різні мікросхеми для забезпечення ефективного та стабільного отримання та декодування цифрового телебачення.

1.6 Стандарт супутникового мовлення DVB-S

Супутникове ТБ мовлення - швидкий, надійний і економічний спосіб поширення високоякісного ТБ сигналу на великі відстані. Переваги включають низькі енерговитрати для підтримання супутника на орбіті, використання сонячної енергії, стійкість сигналу до атмосферних і географічних впливів. Супутники зазвичай перебувають на геостаціонарній орбіті, покриваючи третину Землі. Вузькі промені енергії дають змогу охопити обмежені області. Для ТБ мовлення на супутниках характерні низькі перешкоди і помилка прийому через відстань до супутника. Ширина супутникових каналів дає змогу високі швидкості передавання даних. Тому досяжні швидкості передачі даних і каналних символів залежно від ширини каналу зв'язку залежно від ширини каналу зв'язку, представлені в таблиці 1.4:

Таблиця 1.4 – Досяжні швидкості передачі даних при різній ширині радіоканалу

Ширина каналу, МГц	Швидкість передачі, Мсимв/с	Повна швидкість передачі, Мбит/с	Швидкість передачі користних даних, Мбит/с
54	45	90	41,5... 72,6
36	30	60	27,7...48,4
33	27.5	55	25,3... 44,4
71	22.5	45	20,7... 36,3

При цьому швидкість передачі корисних даних (останній стовпчик) залежить від параметрів каналного кодування, оскільки зі збільшенням надлишковості складеного коду підвищується стійкість до помилок, але швидкість передачі корисних даних зменшується.

Стандарт DVB передбачає використання існуючих каналів супутникового телебачення з шириною смуги частот 27 МГц в діапазоні частот 11...12 ГГц. В перспективі передбачається використання діапазону 20...21 ГГц з більш широкою смугою частот окремих каналів.

Для супутникових систем ТВ мовлення характерна обмежена потужність передаючого сигналу, що викликає підвищену чутливість до впливу шумів та інтерференційних завад. Тому спільне використання енергетично ефективної квадратурної фазової модуляції QPSK, каскадного кодування на основі скороченого коду RS та складеного коду з алгоритмом декодування Вітербі забезпечує високу стійкість до завад в умовах шумів та інтерференційних завад.

У внутрішнього кодека є можливість вибору одного з п'яти дискретних значень кодової швидкості в діапазоні 1/2-7/8 для отримання найвигіднішого співвідношення між ефективністю використання спектра та потужністю випромінювання.

Завдяки згодованій фільтрації та безпосередньому виправленню помилок висока якість прийому досягається навіть в екстремальних умовах, коли рівень приймального сигналу близький до значень, що відповідають пороговим значенням співвідношень несуча/шум та несуча/інтерференційна завада.

При цьому гарантується не більше однієї помилки на годину, що еквівалентно ймовірності помилок приблизно 10^{-10} ... 10^{-11} на вході демультіплексора MPEG-2 в приймачі-декодері.

Система DVB-S є функціональним блоком, що забезпечує зв'язок цифрового сигналу телевізійної програми на виході транспортного мультіплексора MPEG-2 з характеристиками супутникового каналу.

Структурна схема передавальної та приймальної частини системи DVB-S подана на рис. 1.12.

Під час передачі виконуються такі перетворення потоку даних для його адаптації до каналу:

- транспортне мультиплексування та рандомізація для вирівнювання енергетичного спектра сигналу;
- зовнішнє кодування за допомогою коду Ріда-Соломона;
- конволюційне перемішування;
- внутрішнє кодування з використанням згорнутого конволюційного коду;
- формування сигналу в основному діапазоні частот;
- модуляція.

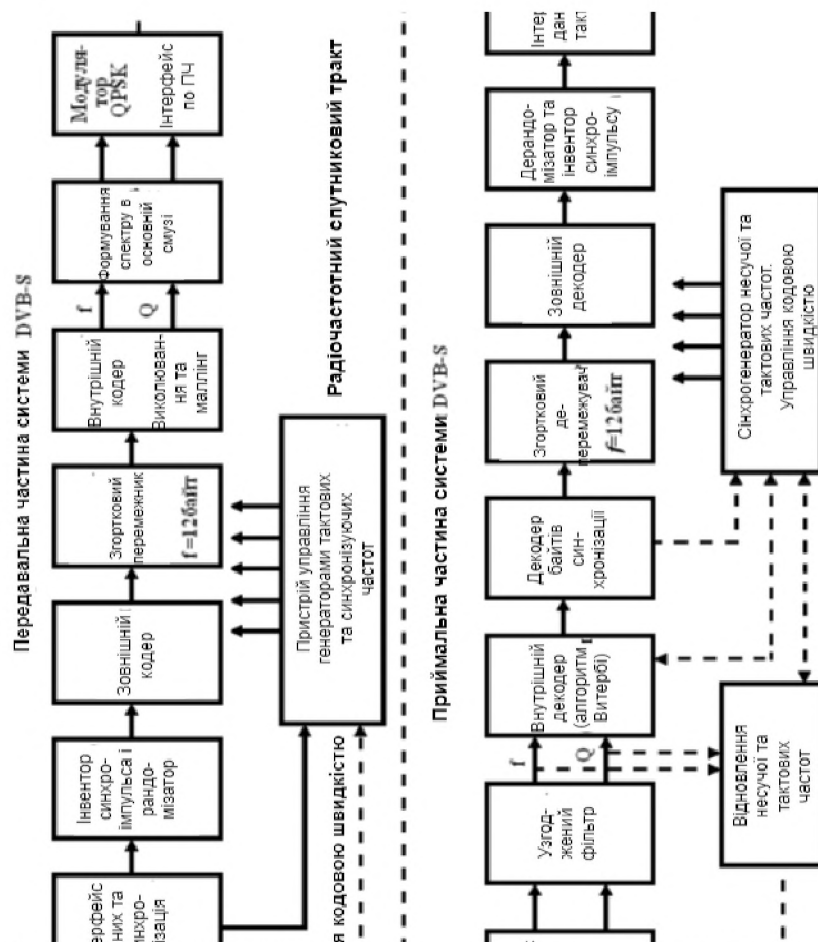


Рисунок 1.12 – Структурна схема системи DVB-S

Під час передачі транспортного потоку даних і його тактові імпульси входять до системи через фізичний інтерфейс. Частота тактування з інтерфейсу та зовнішній сигнал управління кодовою швидкістю

використовуються для генерації всіх необхідних тактових і синхронізуючих частот. Подача тактових сигналів та синхронізація передавача виконуються з використанням відповідних керованих генераторів.

З виходу інтерфейсу транспортні пакети проходять через пристрій для формування синхробайту цикла (за стандартом MPEG-2 виконується інверсія синхробайту кожного восьмого транспортного пакета) і далі обробляються у рандомізаторі, що забезпечує вирівнювання енергетичного спектра сигналу. Потім рандомізовані пакети даних кодуються зовнішнім RS-кодером, піддаються зовнішньому конволюційному перемішуванню і потрапляють до блока внутрішнього кодування та модуляції. Структурні схеми та параметри рандомізатора, зовнішнього RS-кодера і внутрішнього конволюційного кодера ідентичні відповідним пристроям в системі DVB-T. Однак в схемі блока внутрішнього кодування і модуляції доданий перфоратор. Цей блок дозволяє збільшити швидкість передачі пакетів даних шляхом видалення зайвих перевірочних символів конволюційного коду, що надходить із базовою кодовою швидкістю $R = 1/2$. Також у каналному кодері відсутній внутрішній перемішувач, оскільки статистичні характеристики помилок супутникового каналу не потребують його застосування.

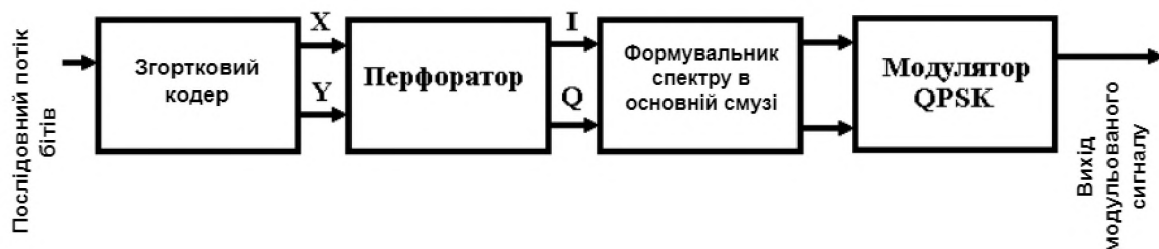


Рисунок 1.13 – Структурна схема підсистеми кодування та модуляції в системі DVB-S

Потім формується спектр сигналу в основному діапазоні частот та його передача на QPSK-модулятор. Після цього за допомогою проміжної частоти 70/140 МГц здійснюється зв'язок з високочастотним передавальним обладнанням земної станції супутникового радіоканалу. Стандарт DVB-S2 - це новий крок у розвитку технологій супутникового телебачення, який

об'єднує попередні стандарти DVB-S та DVB-DSNG, а також розширює їхні можливості. Новий стандарт став відповіддю на потреби змінюючогося телерадіомовлення та розвитку технологій.

Головні причини перегляду стандартів включають:

- Масовий запуск ТВЧ: популярність високої чіткості та інших нових форматів телепередач призводить до зростання попиту на широкосмугові ресурси. Новий стандарт відповідає цій потребі, дозволяючи передавати більше інформації у стандартній ширині каналу.

- Покращення якості прийому в Ка-діапазоні: традиційно сигнали в Ка-діапазоні були менш помічені при поганих погодних умовах, особливо під час дощу. Новий стандарт вдосконалює поміченість прийому в цьому діапазоні.

- З'ява інтерактивних мереж та адресних послуг: розвиток технологій сприяв з'яві супутникових мереж з інтерактивними можливостями. Новий стандарт дозволяє адаптувати параметри передачі для кожного адресата, що покращує ефективність використання ресурсів.

У новому стандарті були вирішені такі завдання:

- Підвищення ефективності транспортного каналу: За рахунок введення різноманітних схем модуляції та використання більш ефективних кодів захисту і округлення, можливо передавати більше інформації в обмеженому просторі.

- Диференційований підхід до параметрів передачі для різних послуг: Вводяться режими VCM (Variable Coding and Modulation) та ACM (Adaptive Coding and Modulation), які дозволяють пристосовувати параметри передачі до умов прийому різних послуг.

- Забезпечення сумісності з попередніми стандартами та плавний перехід до нового обладнання: Для забезпечення сумісності введено два режими – сумісний, але менш ефективний, та режим, що використовує всі нові можливості.

В результаті, DVB-S2 став універсальним стандартом, який підходить для розповсюдження різних типів програм – від стандартної до високої чіткості, а також для інтерактивних та професійних застосувань. Цей гнучкий підхід робить стандарт ефективним та легко адаптованим для різноманітних потреб.

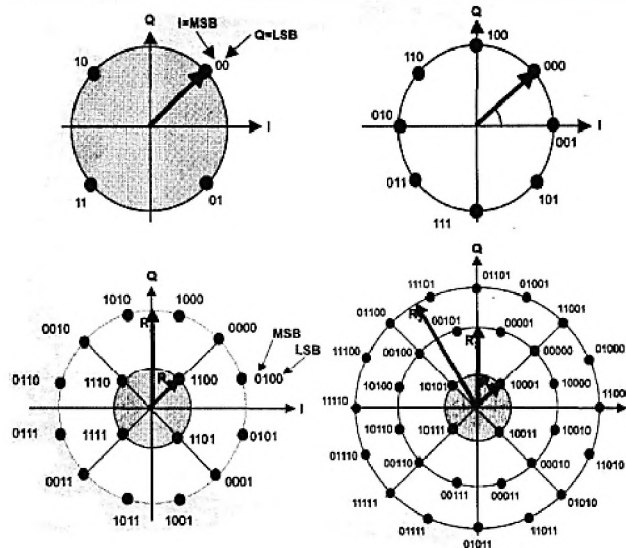


Рисунок 1.14 – Схеми модуляції DVB-S2

Перші дві схеми, QPSK і 8PSK, використовуються у телекомунікаційних мережах. Там передавачі транспондерів майже насичені, тому неможливо модулювати несучу за допомогою амплітуди. Швидкіші схеми модуляції, 16-QAM і 32-QAM, застосовуються у професійних мережах, де використовуються менш потужні наземні передавачі. Такі схеми дозволяють використовувати ретранслятори та сприяють точній оцінці фази сигналу на приймальній стороні.

Символи в межах констеляційних діаграм розташовані на колах, що робить їх стійкими до шумів і дозволяє використовувати ретранслятори в режимах, близьких до насичення. 32-QAM дозволяє передавати дані зі швидкістю у 2.5 рази більше, ніж QPSK.

У новому стандарті додано два коефіцієнти округлення α : $\alpha=0.20$ і $\alpha=0.25$, крім звичайного $\alpha=0.35$. Ці нові значення дозволяють ефективніше використовувати спектр за рахунок струмільших імпульсів, але можуть збільшити нелінійні спотворення.

Для захисту від шумів використовується перемішування даних і дворівневий FEC код. В новому стандарті замість Ріда-Соломона використовується код BCH для зовнішньої захисту, а для внутрішньої – код з низькою щільністю перевірок на парність LDPC. LDPC – це один з турбокодів, який був вибраний для максимальної ефективності передачі при дотриманні обмежень на обчислювальну складність.

Код LDPC застосовується до блоків довжиною 64800 бітів, які можуть бути скорочені у 4 рази для додатків, що вимагають низьких затримок.

Для покращення поміркованої частоти помилок використовується зовнішній рівень кодового захисту BCH, який діє при низькій щільності помилок. У більшості режимів цей код здатний виправляти до 12 помилок.

BCH є алгебраїчним кодом, як і код Ріда-Соломона, проте BCH виправляє окремі помилки, а не групові, і може застосовуватися для довших послідовностей. Нові коди забезпечують ефективніше використання каналних ресурсів порівняно з кодами DVB-S.

Згідно з розробниками стандарту, BCH дозволяє працювати зі значеннями E_b/N_0 на 0.7 дБ вище від співвідношення Шеннона для заданої швидкості, тоді як застосування коду Ріда-Соломона потребує 5 дБ вище.

Стандарт DVB-S2 орієнтований на передачу потоку MPEG-2TS. Фізичний кадр ділиться на слоти по 90 символів, для полегшення надійного декодування. Пілотні сигнали вставляються через кожні 16 слотів для відновлення синхронізації.

Режими VCM і ACM дозволяють змінювати параметри передачі в межах кадру.

Залежно від режиму кодування та модуляції, рівень сигнал/шум для приймача може бути від -2.4 до +16 дБ. Враховуючи допустимий BER на рівні 10^{-7} , енергетика сигналу перевищує межу Шеннона на 0.7 - 1.2 дБ.

Порівняно з DVB-S, новий стандарт забезпечує підвищення швидкості передачі корисної інформації на 20–35%, або ж, за тієї ж ефективності використання спектра, надає запас у рівні сигналу на рівні 2–2.5 дБ. Ця

перевага особливо важлива при використанні режиму АСМ для інтерактивних адресних застосувань, таких як передача IP unicast.

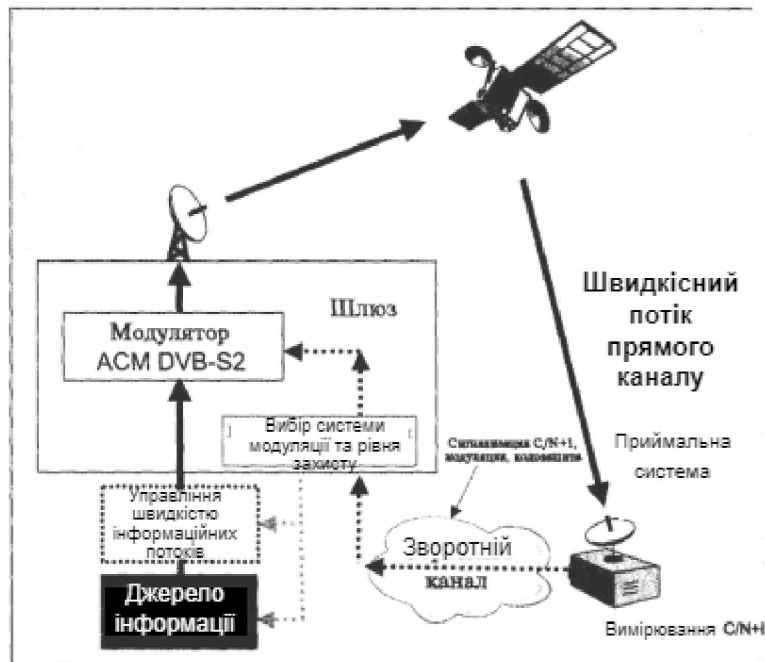


Рисунок 1.15 – Робота DVB-S2 у режимі АСМ

Новий режим АСМ дозволяє уникнути надлишкової енергетики в 4–8 дБ, яка резервується для поганих умов прийому. Це дає змогу подвоїти або навіть потроїти пропускну здатність транспондера.

В режимі АСМ параметри кодування та модуляції можуть змінюватися від кадра до кадра. Якість прийому оцінюється параметром $C/N+1$, адаптація потоків даних вимагає складного управління та може бути важкою задачею, особливо при багатокористувацькому середовищі.

Стандарт DVB-S2 не замінить DVB-S, але буде використовуватись для непідтримуваних служб. Швидке впровадження залежить від появи нових непідтримуваних послуг. Масове впровадження можливе, особливо в мережах збору новин через переваги АСМ режиму.

1.7 DVB-C. Стандарт цифрового кабельного телебачення

Оскільки кабельні лінії зв'язку є екранованими напрямними системами, передавані через них сигнали захищені від впливу атмосферних та

промислових перешкод. Крім того, завдяки використанню проміжних підсилювачів, можна підтримувати достатньо високе співвідношення сигнал/шум (не менше 30 дБ). Тому з точки зору стійкості до перешкод, кабельна ТБ працює в менш складних умовах, ніж земне телебачення. Через це в цифровому кабельному телебаченні, як правило, не використовується внутрішнє кодування за допомогою згорткових кодів.

Основна мета у кабельному телебаченні - максимально ефективно використовувати частотний діапазон для передачі якнайбільшої кількості телепрограм через існуючі кабельні мережі. Для цього використовується багатопозиційна квадратурна амплітудна модуляція (КАМн) замість ортогонально-частотного розділення сигналу (OFDM), яке регламентоване стандартом DVB-C. Наразі застосовуються КАМн з 16, 32, 64 та 256 позиціями. Швидкості передачі двійкових символів для різних кількостей позицій КАМн наведені в таблиці 1.5. Повна швидкість передачі двійкових символів (третій стовпчик) отримується множенням швидкості передачі каналних символів на кількість бітів у символі, що дає більшу швидкість передачі корисних даних завдяки додатковим байтам у помилково-стійкому кодуванні Ріда-Соломона.

Порівнюючи дані останнього стовпчика таблиці 1.5 зі швидкостями передачі двійкових символів, необхідними для передачі телепрограм з різними рівнями якості зображення, можна оцінити, скільки програм з певною якістю зображення можна передати в одному кабельному каналі.

Узагальнена структурна схема передавальної частини системи DVB-C зображена на рис. 1.16. У передавальній частині цифрового кабельного телебачення виконуються багато операцій, які детально описані у системі DVB-T. При формуванні транспортного потоку, згідно загального стандарту DVB, в нього включаються елементарні потоки декількох телепрограм та різні дані. Транспортні пакети об'єднуються по 8. В першому пакеті кожної восьмерки синхронна група інвертується, тобто замість шістнадцяткового

числа 0x47 передається 0xВ8. Це необхідно для циклічної синхронізації у приймачі.

Таблиця 1.5 – Швидкість передавання даних за різних рівнів модуляції

Вид модуляції	Швидкість передачі, МСимв/с	Повна швидкість передачі, Мбит/с	Швидкість передачі користних даних, Мбит/с
16-КАМн	6,89	27,56	25,2
32-КАМм	6,92	34,60	31,9
64-КАМн	6,84	41,04	38,9

Подальша дія полягає в проведенні операції змішування (скремблювання) для захисту передаваної програми від несанкціонованого доступу і для отримання більш рівномірного розподілу потужності по ширині каналу зв'язку. Скремблювання не стосується синхрогруп транспортних пакетів, щоб їх можна було розпізнати в приймачі.

Потім виконується помилково-стійке кодування за допомогою кодів Ріда-Соломона. При цьому довжина транспортних пакетів збільшується з 188 до 204 байтів, а також застосовується перемішування байтів для захисту даних від помилок у пакетах.

Наступним кроком є перетворення переданих байтів на символи КАМн. Наприклад, за використання 64-позиційної 64-КАМн кожен 3 байти перетворюються на 4 шестибітові символи, після чого для забезпечення більшої помилково-стійкості виконується диференційне кодування двох старших бітів.

Наступною операцією в DVB-C є перетворення символів на імпульси напруги, які потім подаються на модулятори квадратурних компонент I та Q. Для обмеження спектра модельованого сигналу фронти та спади імпульсів випрямляються за допомогою фільтра нижніх частот. Потім на інтермедійній частоті виконується багаторівнева амплітудна квадратурна модуляція. Після чого за допомогою зміни частоти спектр сигналу переноситься на вибране

ТБ-канал, а далі сигнали через вихідні підсилювачі кабельної розподільчої мережі надходять на входи приймальних пристроїв.

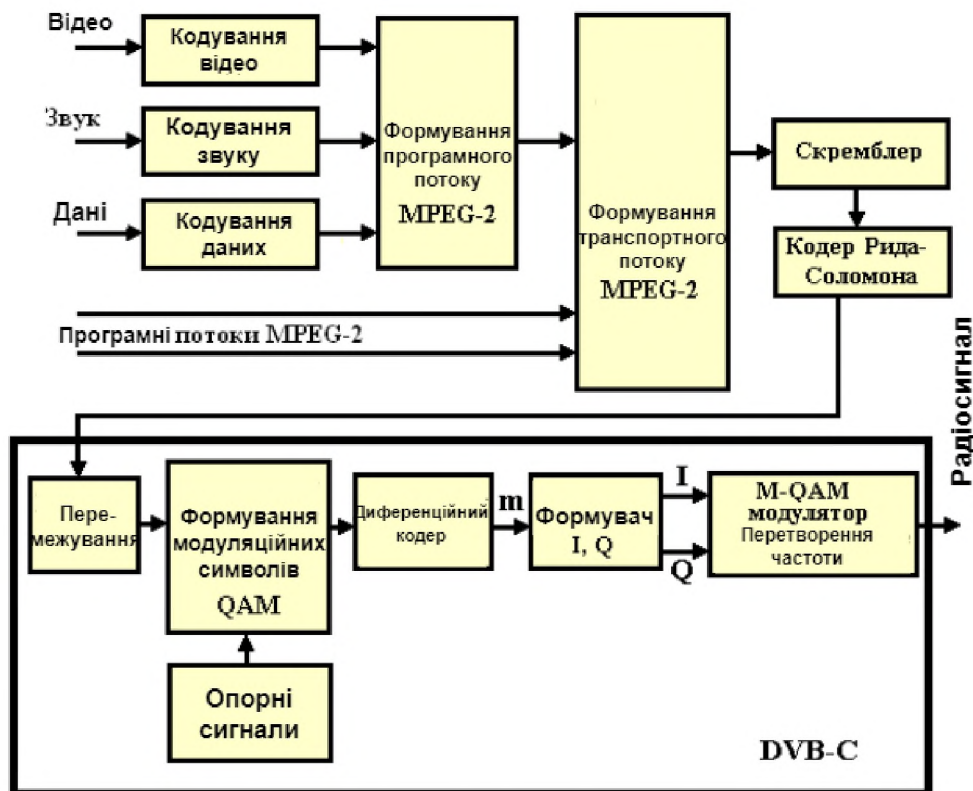


Рисунок. 1.16 – Узагальнена структурна схема передавальної частини системи DVB-C

У приймачі мають бути виконані відповідні обернені операції. Структурна схема приймального тракту кабельного цифрового телебачення наведена на рис... Вхідний сигнал з кабельної лінії надходить на тюнер, де, як у звичайному телевізорі, вибирається необхідний канал, і сигнал цього каналу переноситься на проміжну частоту. Далі в проміжному частотному конвертері виконується додаткове зниження частоти. Для цього використовується несуча частота, відновлена в демодуляторі КАМ_n або в самому блоку проміжного частотного конвертера. Ширина спектра сигналу після зниження частоти зазвичай становить 3... 11 МГц.

Потім сигнал проходить керований підсилювач, коефіцієнт підсилення якого визначається сигналом АРУ з демодулятора. Амплітуда сигналу при цьому адаптується до діапазону вхідних напруг АЦП. Для прийому сигналів 16-КАМ_n, 32-КАМ_n і 64-КАМ_n достатньо АЦП з 8 двійковими розрядами, а

для прийому 256-КАМн необхідно мати 9 двійкових розрядів. Дискретизація проводиться з частотою каналних символів, тобто близько 7 МГц. Тактові імпульси (ТІ) формуються в демодуляторі.

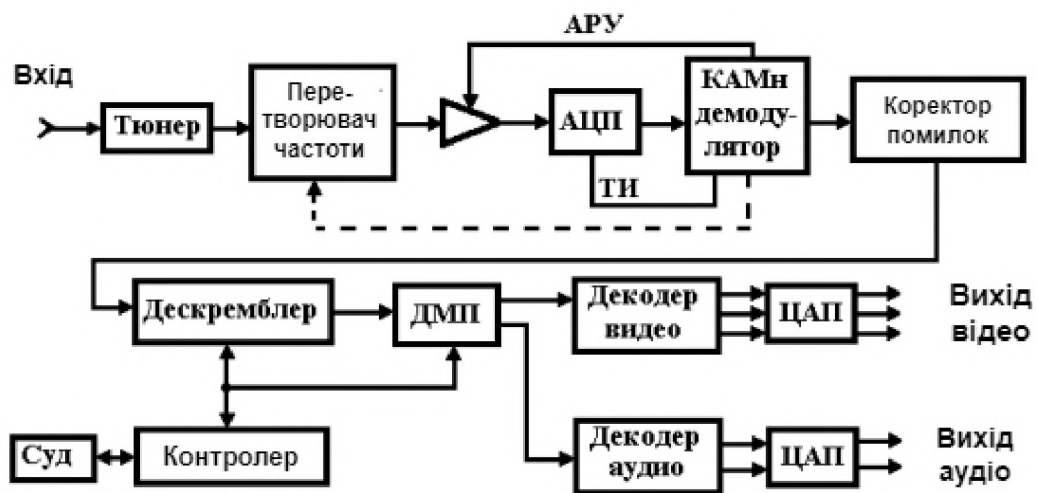


Рисунок 1.17 – Структурная схема приемного тракта кабельного цифрового ТВ

Цифровий сигнал, що надходить на демодулятор, перетворюється на сигнали квадратурних компонент I та Q , за якими відновлюються каналні символи. Після цього з цих символів формуються байти вихідного потоку даних. Наприклад, для 64-КАМн з 4 шестибітових каналних символів формуються 3 вихідні байти. В демодуляторі відновлюються частота несучої (зміщена до діапазону проміжної частоти) та тактові імпульси каналних символів, які використовуються як у самому демодуляторі, так і в попередніх блоках.

Далі потік даних надходить до блока корекції помилок, де виконуються розмішування та декодування коду Ріда-Соломона. Це дозволяє відновити розміри транспортних пакетів (188 байтів кожен) та початковий порядок байтів у пакетах.

Потік даних подалі проходить через дескремблер, де дескрембльований транспортний потік потрапляє до демультіплексора (ДМП). Тут із транспортного потоку вибираються пакети, що належать до обраної програми, і формуються елементарні потоки відео, аудіо та даних. Далі всі

наступні операції обробки сигналів аналогічні до приймального пристрою системи DVB-T.

Цей процес забезпечує відновлення передачі, розбитої на транспортні пакети, і відновлення вихідного відео- та аудіосигналів для подальшого відтворення на телевізорі або іншому пристрої.

1.8 DVB-H. Стандарт цифрового мобільного телевізійного мовлення

DVB-H (Цифрове відеомовлення портативне, DVB "ручний, портативний") – стандарт мобільного телебачення, який був схвалений у грудні 2004 року Європейським інститутом стандартів з телекомунікацій (ETSI) для забезпечення надійного прийому телевізійних програм на портативних приймальних пристроях, встановлених на автомобілях, поїздах або мобільних телефонах.

При розробці системи мобільного телебачення потрібно враховувати наступні особливості умов прийому на мобільні термінали:

- забезпечення прийому сигналів на компактні антени портативних терміналів не лише поза будівлями, а й через бетонні стіни, що потребує значного збільшення щільності потоку потужності передавального сигналу;
 - прийом сигналів на терміналах, встановлених на автомобілях та іншому транспорті, може призводити до значних доплерівських спотворень передаваних імпульсів;
 - обмежені резерви енергії джерел живлення мобільних терміналів.
- Отже, системі DVB-H поставлені наступні вимоги:
- економія струму споживання акумуляторної батареї мобільного терміналу. Ця задача стала визначальною при формуванні концепції мобільного мовлення;
 - стійкий мобільний прийом під час руху, зокрема при великих швидкостях;
 - можливість прийому при багатолучівому поширенні сигналу, особливо в кімнатних умовах;

- повна сумісність з вже існуючими мережами DVB-T;
- узгодження з можливостями мобільного приймального терміналу: зменшена роздільна здатність (320x240 пікселів), оскільки на невеликому екрані немає сенсу відтворювати зображення з високою роздільною здатністю, тому можна передавати в 10-15 разів більше телепрограм, ніж у DVB-T.

З цієї причини, на фізичному рівні система DVB-H максимально наближена до DVB-T. Концептуальна структура прийому DVB-H представлена на рис.1.18 Проте DVB-H має 4 доповнення.

Перше доповнення полягає в тому, що до режимів модуляції 2К і 8К додано ще один - 4К. Це забезпечує більшу надійність зв'язку при максимальній швидкості руху приймача. При цьому, менша кількість ортогональних несучих використовується при модуляції COFDM, тим більше частотний інтервал між сусідніми несучими, і відповідно вища швидкість руху терміналу, при якій порушується прийом через доплерівське зміщення частот. З іншого боку, зменшення кількості несучих призводить до зниження часу передачі кожного символу COFDM і відповідного захисного інтервалу між ними. Це знижує стійкість до перешкод при багатолучевому прийманні і призводить до зменшення допустимого радіуса покриття. Для мереж DVB-T, що передбачають в основному стаціонарний прийом, більш важливим є зону охоплення. Що стосується мереж DVB-H, то для них більшої значущості набуває можливість прийому при русі приймача, а зона охоплення сильно обмежується рівнем сигналу на вході тюнера. Тому для можливості вибору компромісного варіанта був доданий режим модуляції 4К, який можуть приймати лише приймачі DVB-H. Це допомагає забезпечити оптимальну збалансованість між швидкістю передачі даних і стійкістю до перешкод.

Отже, DVB-H - це стандарт мобільного телебачення, спеціально розроблений для забезпечення якісного та надійного прийому телевізійних програм на портативних пристроях, таких як мобільні телефони, автомобільні приймачі та інші мобільні термінали. Система враховує

особливості мобільного середовища, такі як швидкість руху приймача, наявність перешкод та обмежену енергію живлення.

Щоб забезпечити надійний прийом, DVB-H використовує різні техніки модуляції (2К, 4К, 8К) для оптимальної адаптації до умов передачі сигналу. Це дозволяє досягти стабільного зв'язку навіть при високих швидкостях руху. Також зменшена роздільна здатність зображення дозволяє передавати більше програм на обмежених екранах, зберігаючи при цьому якість відтворення.

DVB-H є ефективним рішенням для мобільного телебачення, що враховує особливості мобільних умов та дозволяє користувачам отримувати якісний контент навіть під час руху. Цей стандарт відповідає потребам сучасного світу, де мобільність стає все більш важливою складовою комунікації та розваг.

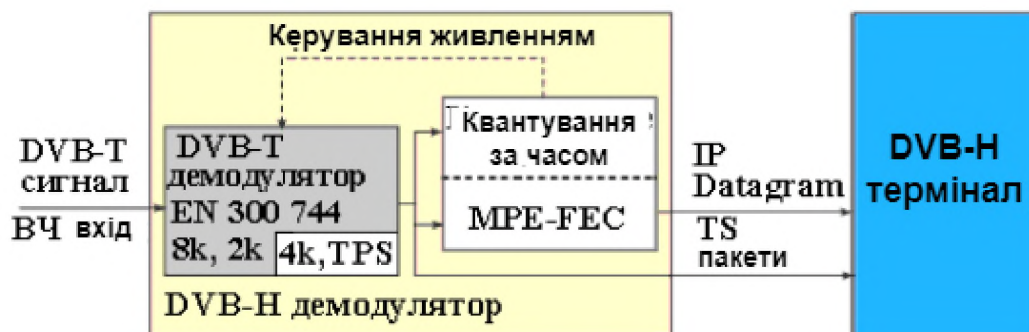


Рисунок 1.18 – Концептуальна структура DVB-H приймання

Таким чином, DVB-H може працювати у трьох режимах модуляції:

- 8К – для використання в одночастотних мережах (SFN) будь-якого розміру (великих, середніх і малих) і допускає наявність доплерівського зсуву за частотою при високошвидкісному прийомі (тобто прийом відбувається під час руху);
- 4К - для мало- та середньо-розмірних SFN мереж при значних доплерівських частотних зсувах. Придатний для прийому при дуже високих швидкостях;

– 2К - для малорозмірних SFN мереж. Гарантує впевнений мобільний прийом при найвищих швидкостях у русі (тобто при досить значних доплерівських зсувах за частотою).

Другим доповненням на фізичному рівні стала можливість більш глибокого перемішування даних у режимах 4К і 2К. Канальне кодування DVB-T передбачає перемішування даних всередині одного COFDM символу. Воно головним чином призначене для компенсації селективних замирень несучих при багатолучівому прийманні. Тим часом мобільні термінали з більшою вірогідністю можуть опинитися в зоні дії широкосмугових імпульсних завад. Крім того, при прийманні у русі виникає доплерівський зсув частотного спектра, що також призводить до спотворень сигналу. Тому для стандартів мобільного мовлення на базі COFDM (DAB, ISDB-T) для боротьби з наслідками тривалих завад у циклі канального кодування введено перемішування довгих послідовностей даних, які охоплюють десятки, а то й сотні OFDM символів. Чим довша послідовність даних, які беруть участь у перемішуванні, тим ефективніше боротьба з наслідками згасань. Проте для DVB-H такий підхід неможливий з декількох причин:

– відновлення довгих послідовностей вимагає неперервного прийому, у той час як для енергозбереження в DVB-H використовується імпульсний режим передачі;

– для відновлення довгих послідовностей потрібні великі обсяги пам'яті, які підвищують вартість приймача;

– застосування довгих послідовностей суперечить вимозі сумісності з DVB-T.

Таким чином, DVB-H вибрано компромісне рішення. Для режиму модуляції 8К, який є актуальним для DVB-T, в DVB-H збережено перемішування бітів в межах одного символу. У режимах 4К і 2К, де кожен COFDM символ не несе так багато інформації, в якості опції введено можливість часового перемішування, яке допускає обсяги виділеної для цих цілей пам'яті. Для 4К перемішування виконується з глибиною 2 COFDM

символів, а для режиму 2K - з глибиною 4 COFDM символів. Однак при роботі в цьому режимі спільна передача трансляцій DVB-H і DVB-T неможлива.

Інші механізми зовнішнього та внутрішнього каналного кодування, які використовуються в DVB-T, без змін перенесені в DVB-H.

Третє доповнення стосується транспортної сигналізації (TPS - Transmission Parameter Signalling), до якої додано два біти, які вказують на наявність послуг у потоці, передаваних у форматі DVB-H, а також наявність додаткового кодового захисту, що реалізується на основі IP дейтаграм (пакетів даних).

Четвертим доповненням стала можливість використання смуги 5 МГц за умови, що вона виділяється не у мовленнєвому діапазоні. Вона додана до смуг 6, 7 і 8 МГц, допускається до використання в DVB-T. Планується її застосування при розгортанні мереж DVB-H у США у L-діапазоні (1,670-1,675 ГГц).

Слід також відзначити, що для економії споживаної електроенергії мобільним терміналом використовується принцип часового стиснення, коли корисна інформація передається короткими порціями з великими швидкостями (наприклад, 10 Мбіт/с), після чого приймач вимикається. Для якісного відтворення DVB-H TV послуг достатньо швидкості передачі в 250 кбіт/с. Таким чином, відношення часу вимкнення приймача до його роботи становить 40 разів ($10/0,25 = 40$), що еквівалентно економії енергії приблизно 90%.

Однією з переваг системи DVB-H є використання слабкопотужних передавачів для ТВ мовлення. При цьому дуже ефективним рішенням для широкомасштабного прийому сигналів DVB-H може стати варіант одночастотної мережі (рис.1.19). У такій мережі декілька передавачів працюють на одній і тій же частоті, охоплюючи мовленням досить великі райони без необхідності використання дуже потужних передавачів та високих антенних опор. Всі передавачі одночастотної мережі передають

ідентичні сигнали і жорстко синхронізовані, найпростіше за допомогою сигналів точного часу, отриманих від GPS-супутників. Для розширення зони покриття та підвищення якості прийому в складних умовах (в автомобілі або всередині будівель) можуть використовуватися додаткові ретранслятори. Такий тип мережі іноді називають одночастотною мережею високої щільності.

Якщо для сигналів DVB-H може бути зарезервованій повний мультиплексований потік, то різко зростає гнучкість у плануванні мереж. Така мережа складається з декількох областей одночастотних м мереж, в кожній з яких використовуються власні частотні призначення. Максимальний розмір однієї області SFN (Single Frequency Network) залежить від швидкості кодування, захисного інтервалу та географічних особливостей мережі і, як правило, досягає десятків кілометрів.

В цьому стандарті, системі DVB-H, зосереджено увагу на високій мобільності та забезпеченні міцного сигналу навіть у складних умовах прийому, таких як рух автомобіля чи знаходження всередині будівель. Однією з ключових переваг цього стандарту є ефективне використання доступної енергії, що дозволяє продовжити тривалість роботи мобільного пристрою.

Загалом, DVB-H створює можливість насолоджуватися якісним телебаченням навіть під час руху або в умовах обмеженої доступності традиційних телевізійних мереж. Цей стандарт відкриває нові можливості для трансляції великої кількості телевізійних каналів та іншого мультимедійного контенту на мобільні пристрої, забезпечуючи високу якість прийому та комфортне переглядання.



Рисунок 1.19 – Варіант одночастотної мережі DVB-H

У випадку, коли в якій-небудь області SFN існують зони з ускладненим або неможливим прийомом, туди може бути розташовано кілька передавачів, синхронізованих за допомогою GPS. Варто відзначити, що потужності передавачів та висоти підвісу антенн мережі DVB-H менше, ніж в традиційних мережах земного цифрового телевізійного мовлення DVB-T. Отже, для забезпечення високого рівня сигналу на вході мобільного пристрою потрібна більша кількість синхронізованих передавачів. Таку мережу називають мережею з високою щільністю одночастотної мережі.

Таким чином, вартість такої мережі буде значно вищою, ніж вартість традиційних мереж земного цифрового телевізійного мовлення DVB-T. Однак і кількість послуг, наданих у одному мультиплексованому потоці, буде в десять разів більше. Система DVB-H дозволяє організувати спільну роботу з DVB-T в одному частотному спектрі (рис.1.17).

Мережа передавачів DVB-T обслуговує як термінали DVB-H, так і термінали DVB-T. Однак при цьому існуюча мережа DVB-T повинна бути спроектована так, щоб забезпечувався прийом всередині будівель на портативні приймачі, тобто вона повинна створювати напруженість поля, достатню для прийому сигналу портативними приймачами, що знаходяться всередині будівель в межах цільової зони обслуговування. Єдина модифікація для передавачів DVB-T полягатиме в тому, щоб до інформації

TPS (Transmission Protocol Specific – спеціальної інформації для використовуваного протоколу передачі) були додані службові біти сигналів DVB-H та біти ідентифікації комірки (Cell ID).



Рисунок.1.20 – Спільне використання мережі DVB-H разом зі службою DVB-T.

Реальне спільне використання реалізується на рівні мультиплексованого потоку. Система DVB-H не накладає жодних обмежень на вибір необхідної частини мультиплексованого потоку для передачі інформації DVB-H. Ключовим компонентом DVB-H в мережі є інкапсулятор IP-даних (согласовувач протоколів), в якому реалізується кодування IP-даних з функцією багатопроTOCOLЬНОЇ упаковки з прямою корекцією помилок MPEG-FEC (Multiprotocol Packaging - Forward Error Correction).

Іншою можливістю забезпечити спільне використання мережі є застосування ієрархічної модуляції DVB-T. В цьому випадку послуги передачі сигналів MPEG-2 та сигналів DVB-H IP будуть вводитися в транспортний потік незалежно на окремі входи передавачів DVB-T. Для передачі сигналів DVB-H буде використовуватися частина з найвищим

пріоритетом, що підвищить стійкість відносно вхідного сигналу з меншим пріоритетом, який буде призначений для звичайних стаціонарних передач програм цифрового телебачення.

1.9 Постановка задачі

1. Проведення аналітичного огляду першоджерел: Для досягнення цілей дослідження необхідно ретельно вивчити різні джерела інформації для обґрунтування вибору найбільш ефективною технології модуляції в системі цифрового телебачення DVB-T.

2. Створення імітаційних моделей: Наступним етапом є розробка імітаційних моделей цифрової телевізійної системи, виходячи із загальної структурної схеми. Ці моделі стануть ключовою для подальших досліджень та експериментів.

3. Розробка моделей приймально-передавальної частини на основі OFDM: Особлива увага приділяється розробці моделі приймально-передавальної частини системи з використанням технології OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing). OFDM є ключовим елементом в цифровому телебаченні і важливий для вашого дослідження.

4. Проведення модельного експерименту для аналізу сигналів та шумів: Моїм завданням є проведення модельного експерименту з метою вивчення впливу шумів на сигнали в каналі зв'язку. Цей аспект важливий для оцінки ефективності системи в умовах реального використання.

1.10 Висновки

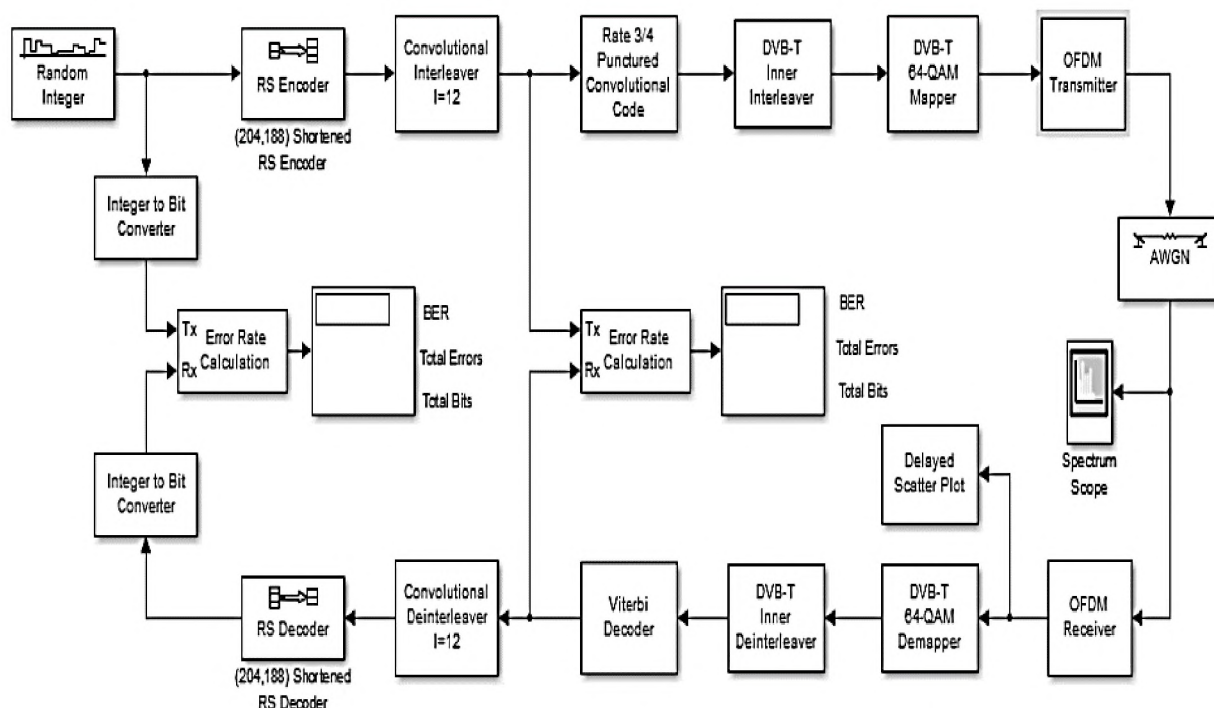
У розділі магістерської роботи, присвяченому опису та аналізу технологій DVB-T, DVB-S, DVB-H та DVB-C, було детально розглянуто ці стандарти цифрового телебачення і визначені їхні основні особливості. В результаті вивчення матеріалу можна зробити висновок, що кожен з цих стандартів має свої переваги та недоліки, що робить їх ідеальними для конкретних застосувань.

Робота дозволяє глибше розуміти технічні аспекти та можливості цифрового телебачення, що є важливим в контексті сучасного розвитку медіаіндустрії та телекомунікаційних технологій.

РОЗДІЛ II. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Імітаційне моделювання системи цифрового наземного наземного телевізійного мовлення DVB-T.

Насамперед, було запущено модель системи DVB-T у програмі Matlab.



Рисунк 2.1 – Функціональна схема системи DVB-T, що реалізована в Matlab

Потім, в процесі дослідження було виявлено залежність бітової ймовірності помилки (BER) від відношення сигнал/шум (SNR), шляхом зміни параметра SNR у блоці AWGN у діапазоні від 1 дБ до 25 дБ із кроком 4 дБ. Результати вимірювань подано в таблиці 2.1:

Таблиця 2.1. Залежність BER від SNR для системи DVB-T

SNR, дБ	1	5	9	13	17	21	25
BER	0,5	0,4	0,4	0,2	0,01	5x 10 ⁻⁶	0

На підставі даних, представлених у таблиці, було побудовано графік залежності бітової ймовірності помилки від відношення сигнал/шум.

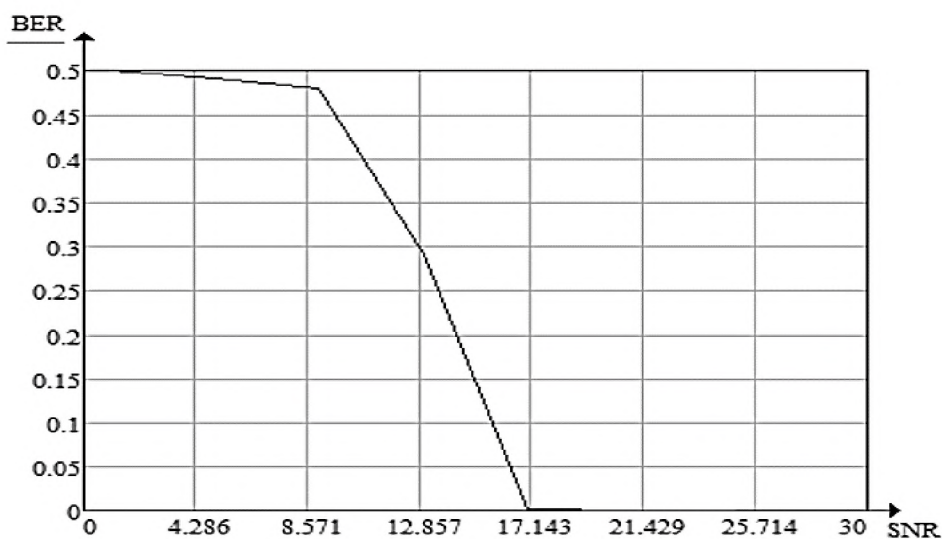


Рисунок 2.2 – Залежність BER від SNR для системи DVB-T за умови використання 64-QAM

Під час аналізу залежності помилковості бітів від співвідношення сигнал/шум у системі телевізійного мовлення були здійснені вимірювання спектра передавального сигналу та побудовані діаграми сузір'їв для 64-QAM при значеннях SNR 1 дБ, 13 дБ та 25 дБ.

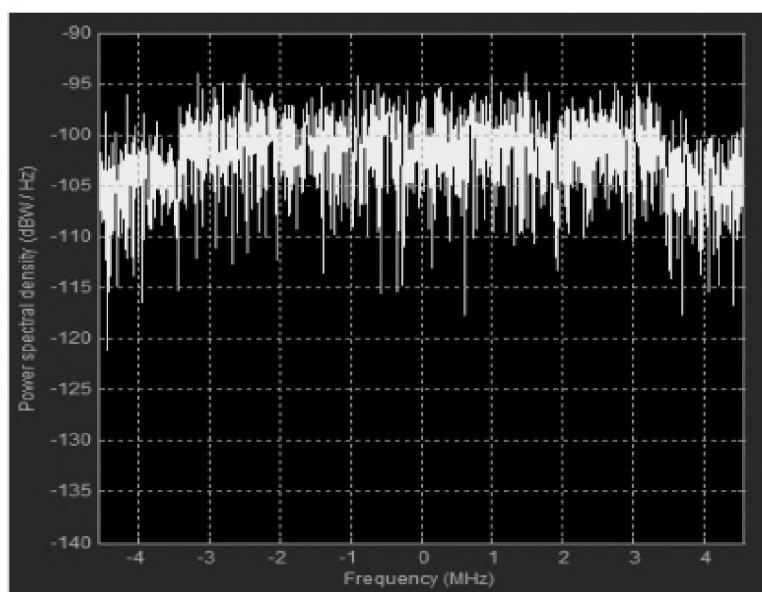


Рисунок 2.3 – Спектр OFDM-сигналу

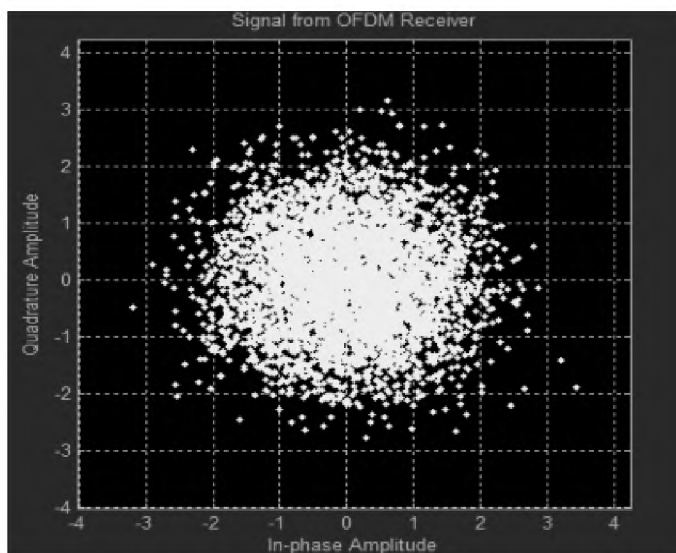


Рисунок 2.4 – Діаграма сузір'їв 64-QAM за SNR=1 дБ

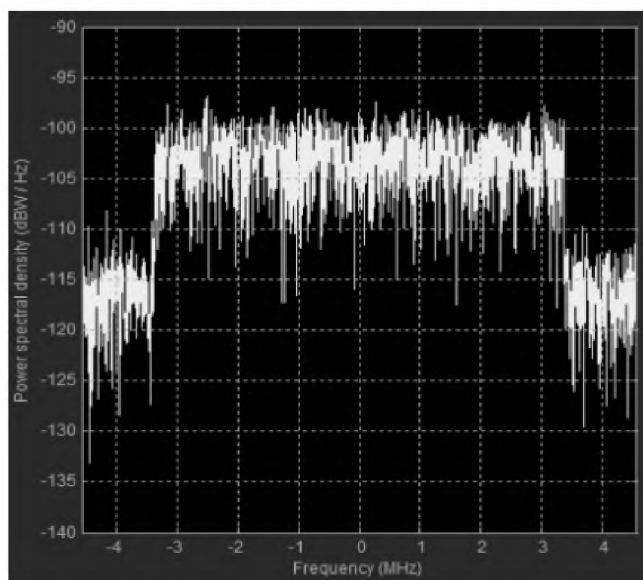


Рисунок 2.5 – Спектр OFDM-сигналу

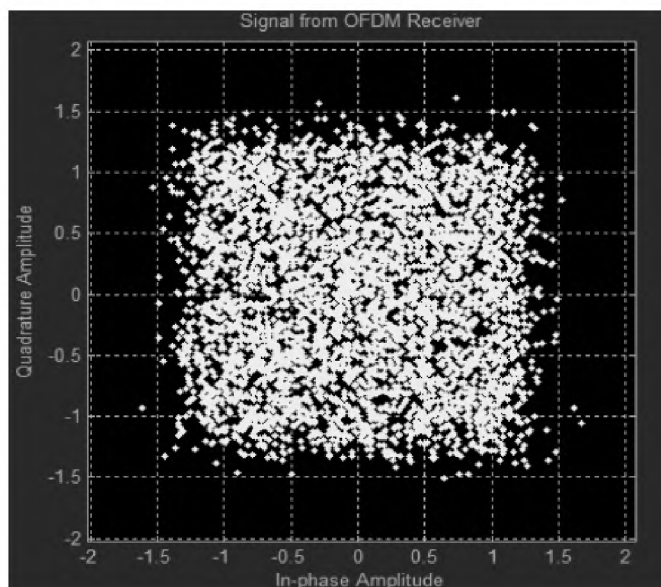


Рисунок 2.6 – Діаграма сузір'їв 64-QAM за SNR=13 дБ

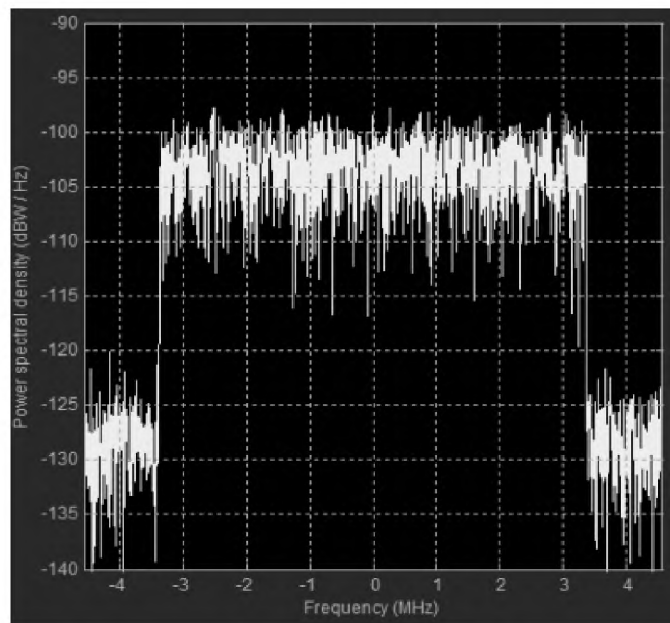


Рисунок 2.7 – Спектр OFDM-сигналу

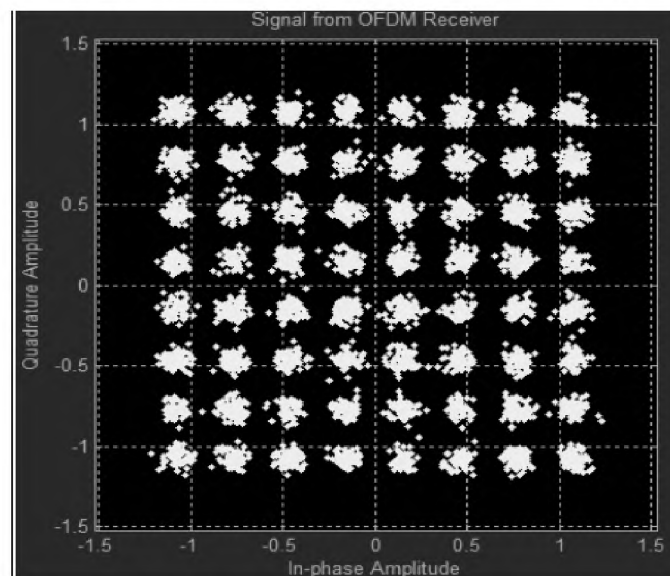


Рисунок 2.8 – Діаграма сузір'їв 64-QAM за SNR=25 дБ

Під час виконання даної роботи були вивчені основні теоретичні аспекти системи цифрового наземного телевізійного стандарту DVB-T. У ході практичної частини роботи була побудована залежність ймовірності помилки біта від співвідношення сигнал/шум, результати якої були відображені у вигляді графіків. Отримана під час моделювання залежність відповідає теоретичним даним.

Також були отримані зображення спектра OFDM-символу та діаграм сузір'їв 64-QAM під час проходження сигналу через канал із додатковим білим гаусовським шумом (АБГШ). Отримані під час моделювання дані

дозволяють зробити висновок про те, що безпомилкова передача даних через зв'язковий канал у системі DVB-T можлива при співвідношенні сигнал/шум не менше 17 дБ. Таким чином, можна сказати, що виконані експерименти відповідають теоретичним принципам системи.

2.2 Імітаційне моделювання системи цифрового супутникового телевізійного мовлення DVB-S і системи високошвидкісного цифрового супутникового ТВ-мовлення DVB-S2.

Насамперед, було запущено модель системи DVB-S2 у програмі Matlab.C:\ProgramData\Microsoft\Windows\Start Menu\Programs\MATLAB

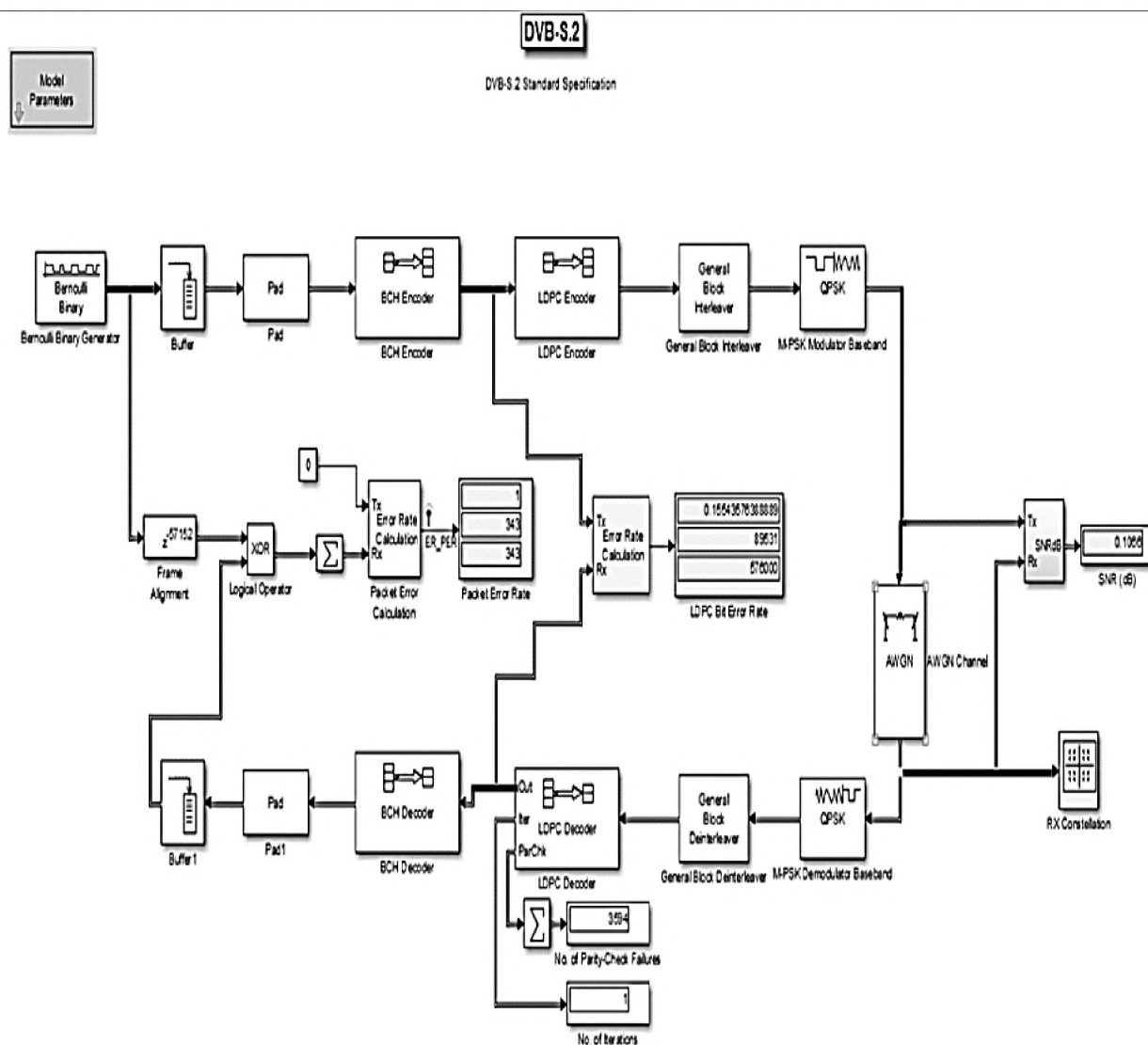


Рисунок 2.9 – Структурна схема DVB-S2 створена у Simulink
MATLAB

Структура модему і кодека DVB-S2 складається з таких модулів:

- Bernoulli sequence generator. Перший блок відповідає за генерацію збалансованих, з погляду ймовірності інцидентів, випадкової двійкової послідовності.
- Послідовність Бернуллі розподілена нулями та одиницями з ймовірностями p і $(1-p)$ відповідно. У цій моделі, $p = 0,5$ в результаті з однаковою ймовірністю відбувається за 0 та 1. Вихідний сигнал цього кадру на основі того ж розміру, що і пакет MPEG-TS, який містить 188 байтів по 8 біт, тобто 1504 біти.
- BBFRAME buffering/unbuffering. З виходу генератора пакети буферизуються, створюючи базовий діапазон кадру (BBFRAME). Розмір цього кадру залежить від швидкості кодування, щоб BCH дорівнював розмірам вхідного сигналу на вході кодера. Інформаційні біти (DFL) може бути розрахована за формулою: $DataFieled = K_{BCH} - 80$, де K_{BCH} є розмір зовнішнього входу FEC кодер BCH, і розмір заголовка дорівнює 80 BBFrame.
- BCH encoder/decoder-Одним із DVB-S2 досягнень є пряме виправлення помилок, які розгорнуті, щоб зменшити BER у передачі використовується помилок BCH. Вихід BBFrame буферизації блоку на стороні відправника, є кадри біт, де BCH виправлення помилок з виправленням влади t буде застосовуватися до них. Для кожного з 11 швидкості кодування представлені в стандартних значень K_{bch} і $nMPB$, які визначаються, зокрема, T -корекції помилок параметра. У 1 і 2 ці значення наведено для нормальних і коротких кадрів, відповідно. є кадри біт, де BCH виправлення помилок з виправленням влади t буде застосовуватися до них. Для кожного з 11 швидкості кодування наведено в стандартних значеннях K_{bch} і $nMPB$ визначаються, зокрема T -корекції помилок параметра. У 1 і 2 ці значення наведено для нормальних і коротких кадрів, відповідно.
- LDPCencoder/coder-Кодування з парною перевіркою. Відношення в швидкості вказує, скільки бітів інформації припадає на один біт із парною перевіркою. Наприклад, $1/4$ має високий рівень парної перевірки та низьку

швидкість, тоді як 9/10 має високу швидкість, але слабку парну перевірку. На боці приймача, LDPC-декодер перевіряє отриману послідовність до парної перевірки.

Тип модуляції QPSK 1/4.

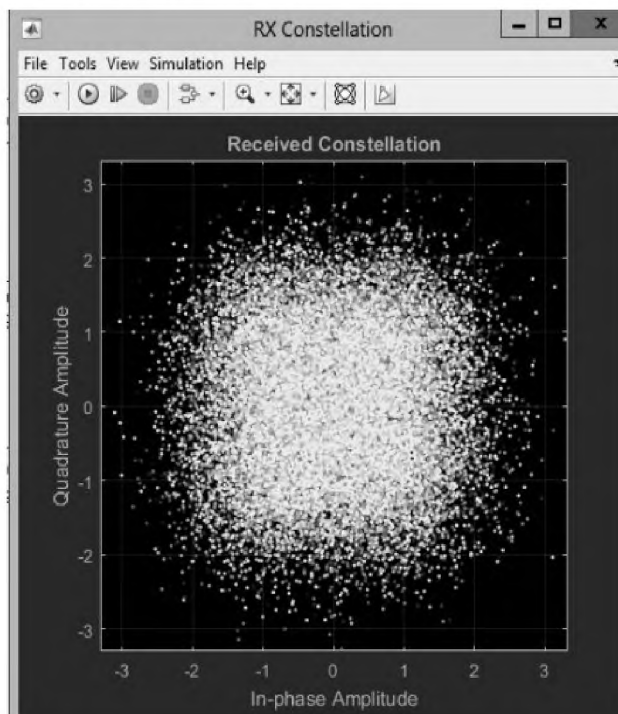


Рисунок 2.10 – Сузір'я за $E_b/N_0 = 0.5$

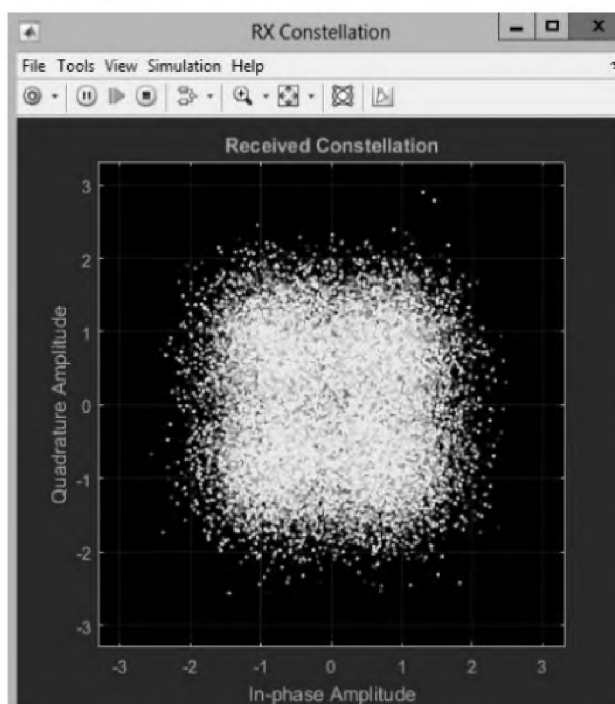
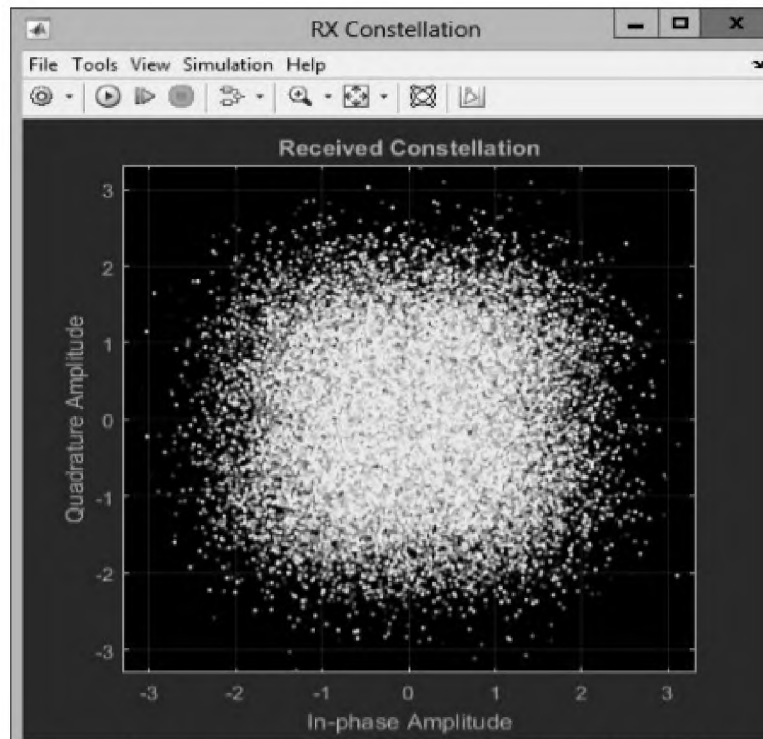
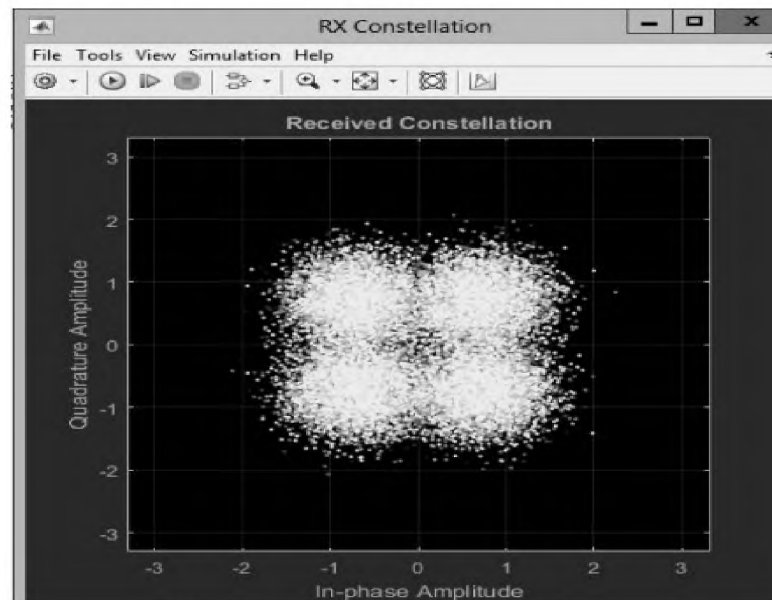
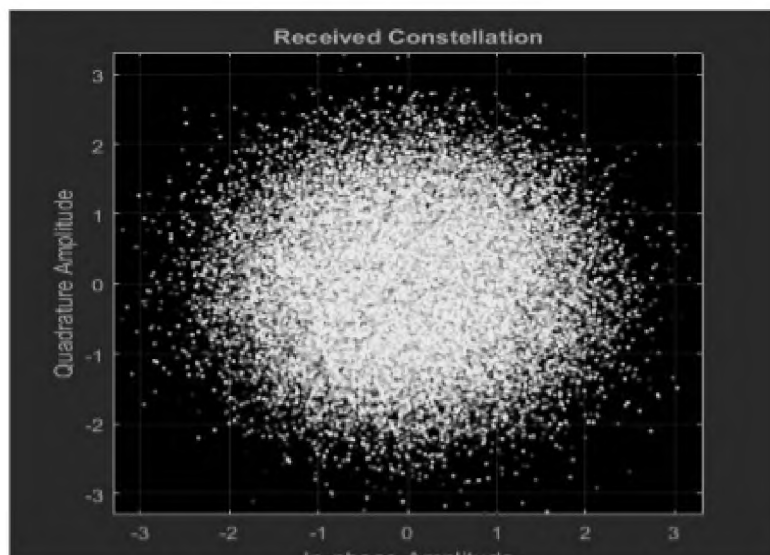
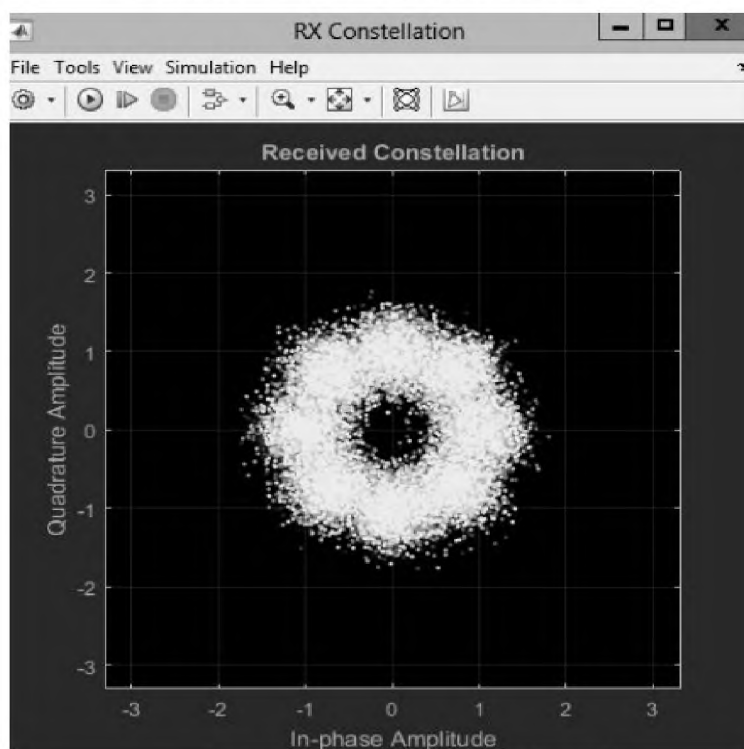


Рисунок 2.11 – $E_b/N_0 = 3.5$

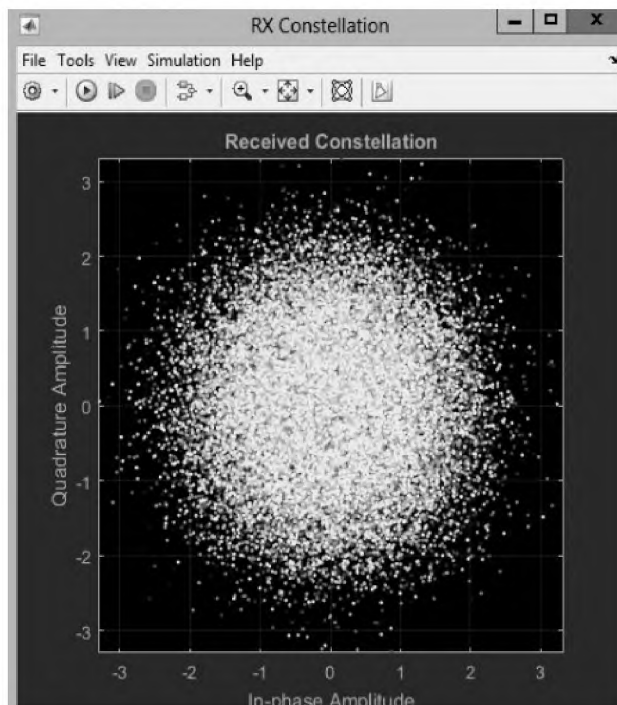
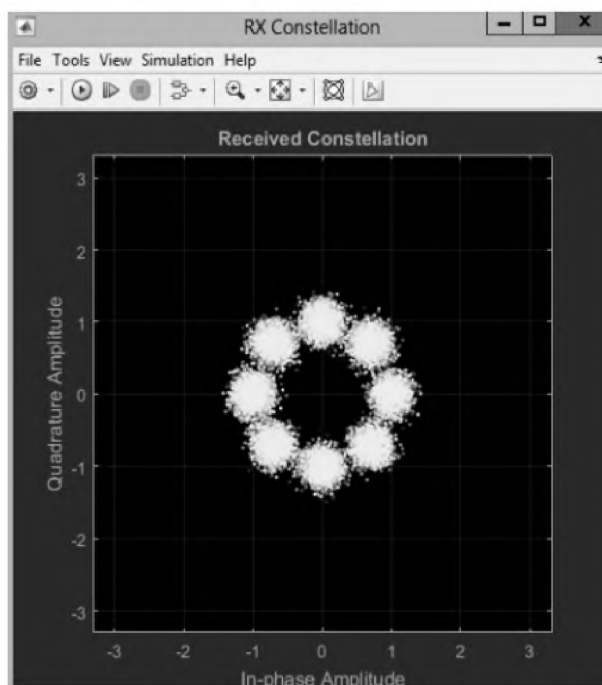
Вид модуляції Qpsk $3/4$

Рисунок 2.12 – Сузір'я за $E_b/N_0 = 0,5$ Рисунок 2.13 – $E_b/N_0 = 5$

Вид модуляції: 8psk

Рисунок 2.14 – Сузір'я $E_b/N_0 = 0,5$ Рисунок 2.15 – $E_b/N_0 = 12$

Вид модуляції: 8psk 9/10

Рисунок 2.16 – Сузір'я за $E_b/N_0 = 0.5$ Рисунок 2.17 – $E_b/N_0 = 6$

Графік залежності E_b/N_0 від BER.

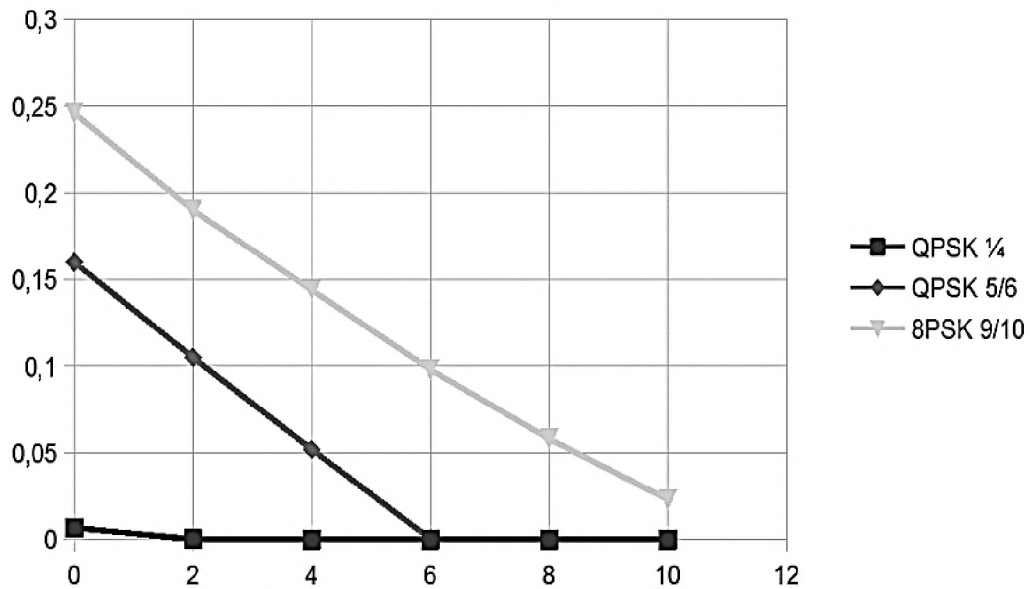


Рисунок 2.18 – Графік залежності

Під час дослідження був вивчений алгоритм стандарту DVB-S2, створений його робочий макет, що дозволив спостерігати отримуваний сузір'я, помічати різницю в помилках, що виникають під час передачі з різними швидкостями. Стандарт DVB-S2 виступав проміжним кроком між DVB-S та DVB-S2 і не був реалізований у повній мірі порівняно з форматом DVB-S.

2.3 Імітаційне моделювання системи цифрового кабельного телевізійного мовлення DVB-C

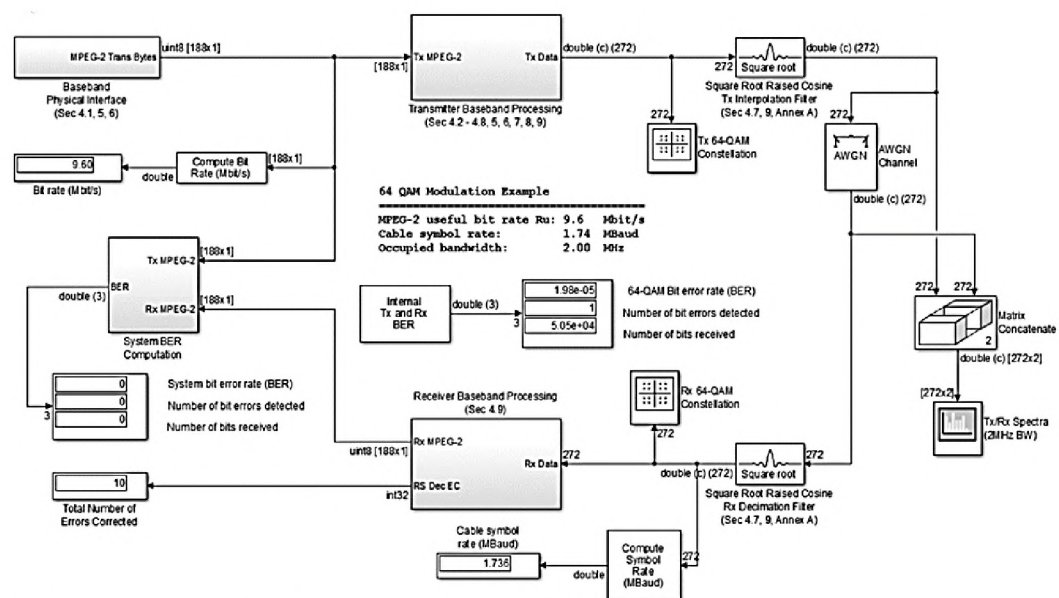


Рисунок 2.19 – Структурна схема системи цифрового кабельного телебачення DVB-C у Simulink MATLAB

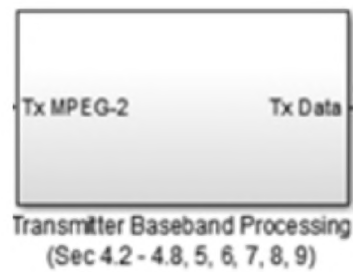


Рисунок 2.20 – Блок імітація потоку даних MPEG-2.

Усередині цього блоку проводиться імітація потоку даних MPEG-2. Представлений на рис. блок містить у собі:



Рисунок 2.21 – Блок передавача.

1. Sync1 Inversion and Randomization

Ця підсистема інвертує байт, далі проводиться рандомізація з метою формування спектра.

2. Кодувальник Ріда-Соломона (204, 188).

Додає 16 паритетних байтів до MPEG-2.

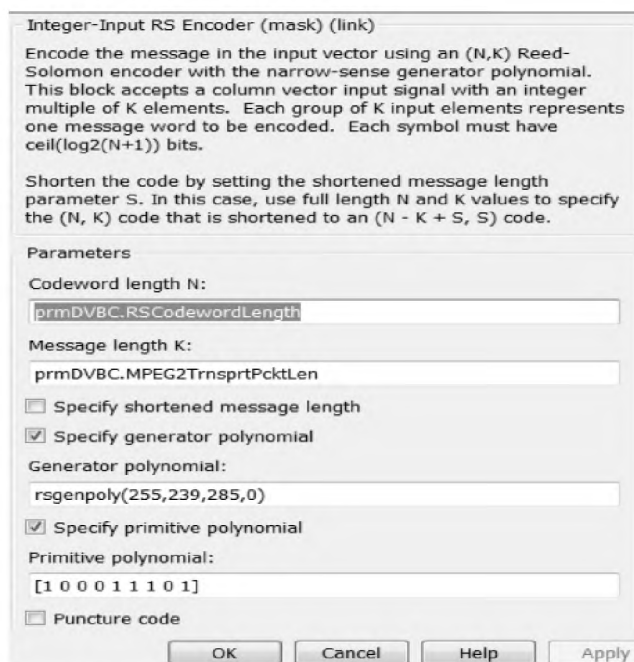


Рисунок 2.22 – Кодувальник Ріда-Соломона (204, 188)

3. Сверточный перемежитель. Процесс перемежения основан на подходе Форни.

4. Байт (8 бит) с M- кортежами (6 -разрядная версия) Используется, чтобы преобразовать 8-битные байты данных в 6-битные.

5. Дифференциальное кодирование.

6. Отображение 64-QAM созвездия. Отображает в основной полосе частот значения (I и Q) при передаче.

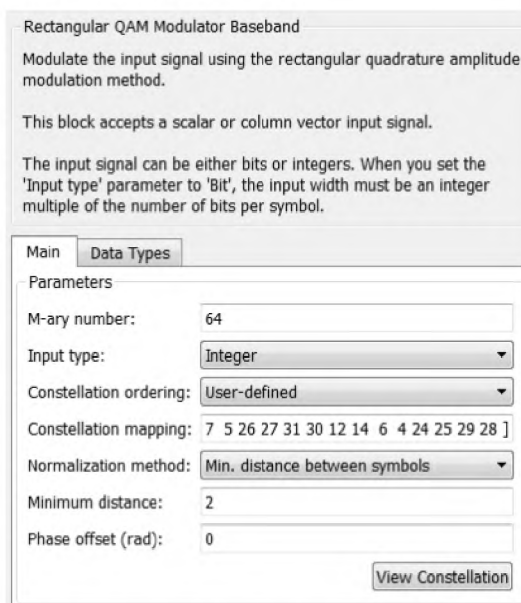


Рисунок 2.23 – Відображення 64-QAM сузір'я

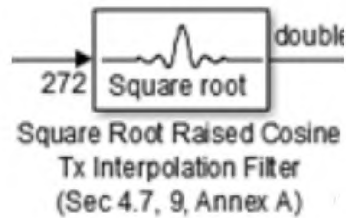


Рисунок 2.24 – Низькочастотне формування значень

Цей блок виконує низькочастотне формування значень символів сукупності для передавання комплексу (I i Q).

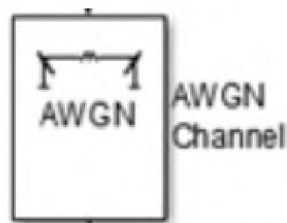


Рисунок 2.25 – Зміна білого гаусівського шуму в межах від 10^{-4} до $10^{-10}, 10^{-11}$

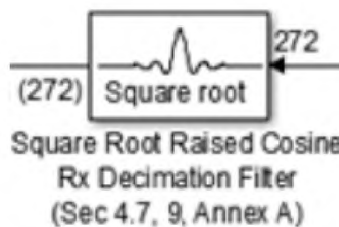


Рисунок 2.26 – Фільтрація значення символу сузір'я

Проріджує (фільтрує) значення символу сузір'я сузір'я комплексу, що приймається (I i Q).

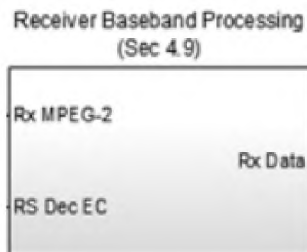


Рисунок 2.27 – Фільтрація значення символу сузір'я

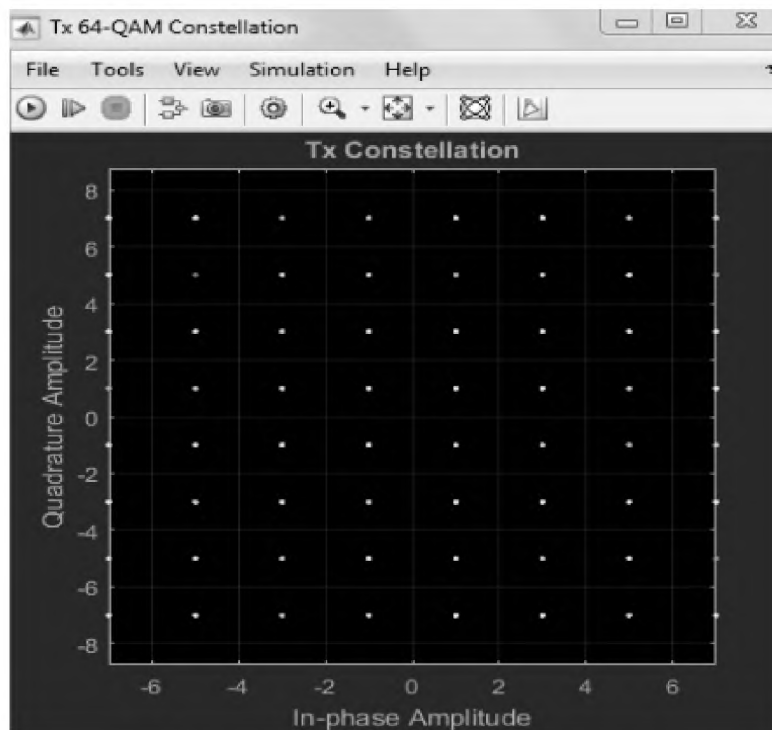
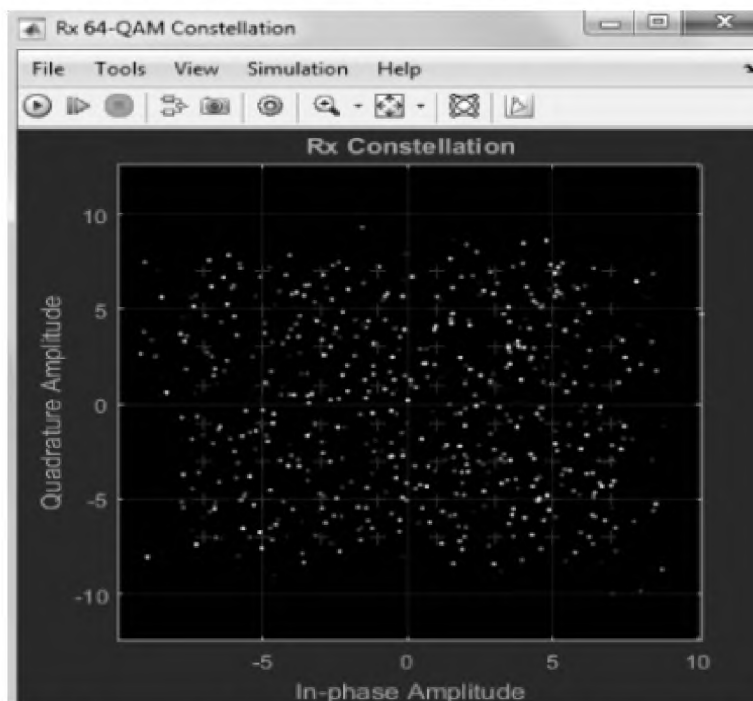


Рисунок 2.28 – Сузір'я передавача

Рисунок 2.29 – Приймач при $E_b/N_0 = 5$ дБ

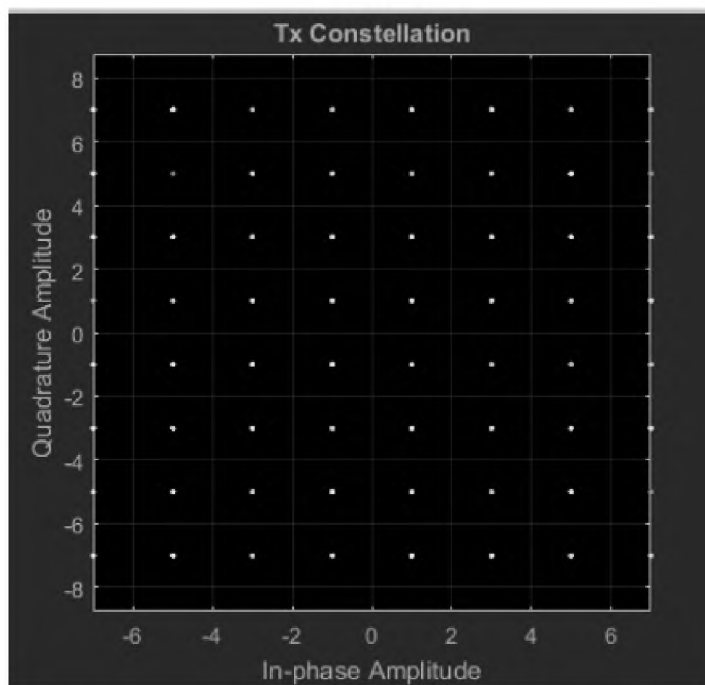
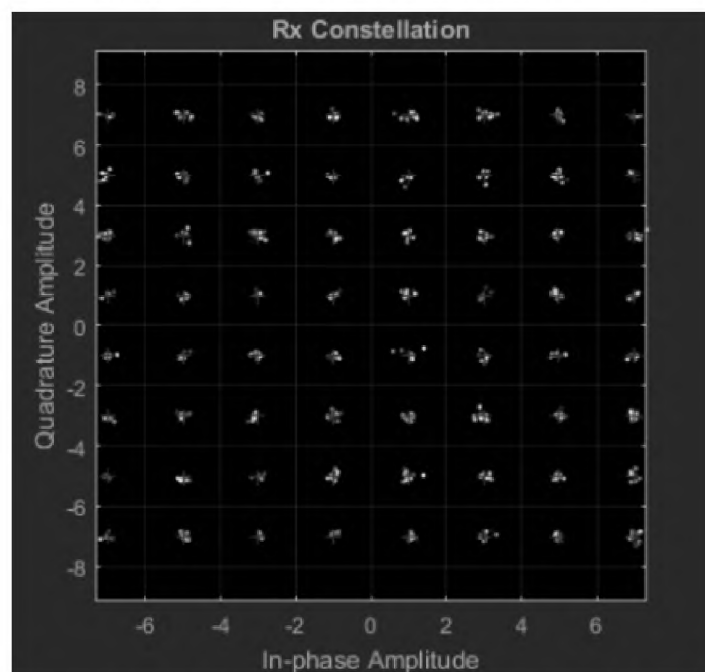


Рисунок 2.30 – Сузір'я передавача

Рисунок 2.31 – Приймач $E_b/N_0 = 19$ дБ

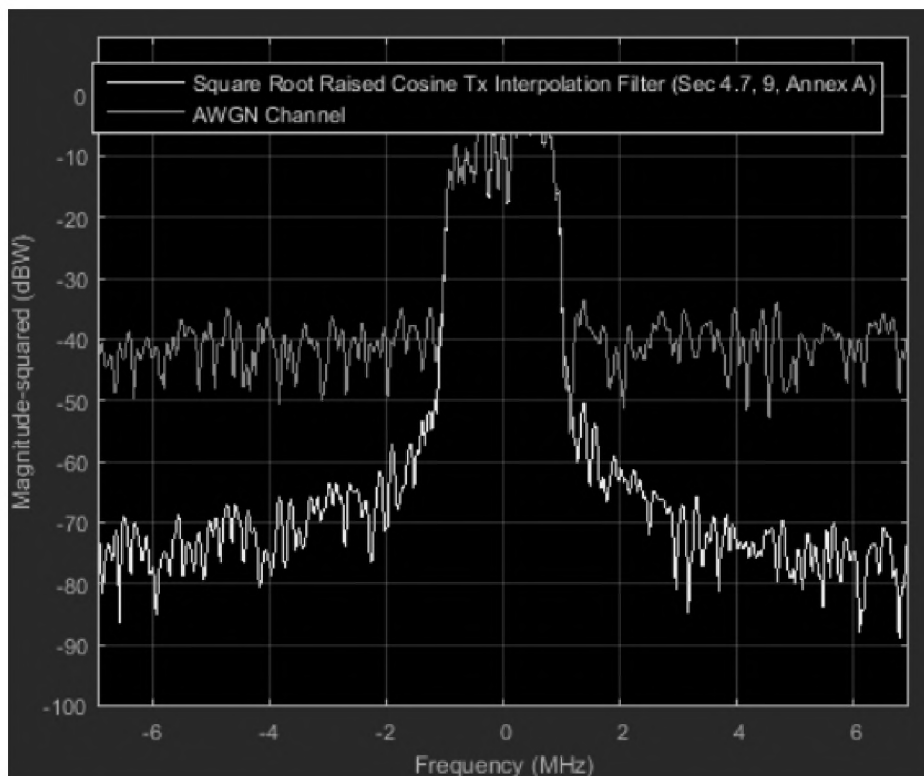


Рисунок 2.32 – Спектр передавача і приймача при $E_b/N_0 = 19$ дБ

Таблиця 2.2. Графік залежності BER від E_b/N_0

b/N_0 , дБ	-	-	-	-	1	1	1	1
	1	5	2,5	1	0	2	5	8
BER	0,4058	0,3359	0,2885	0,256	0,34	0,001	0,605E-6	

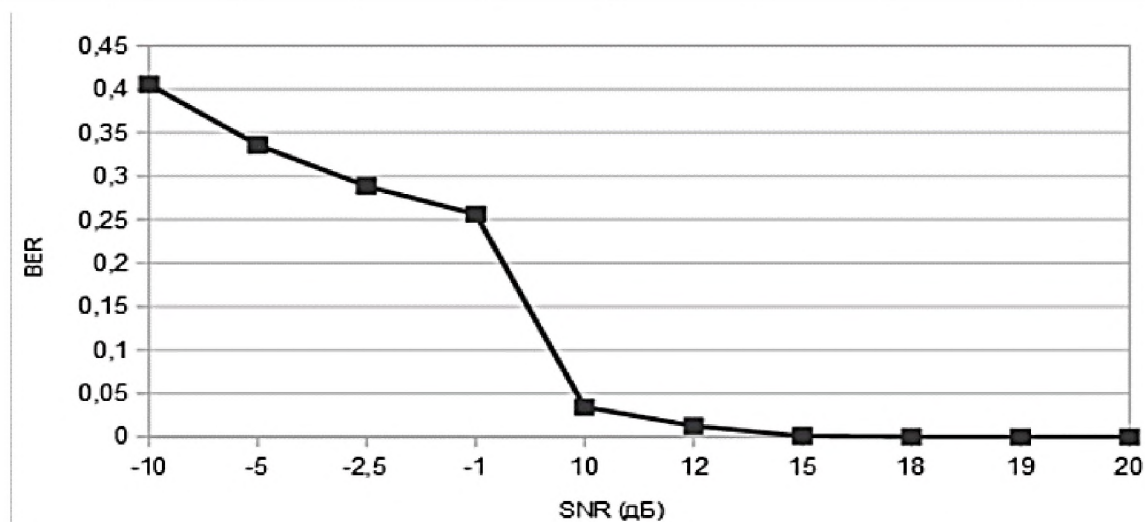


Рисунок 2.33 – Залежність BER(SNR) для QAM-64

Дослідження підтвердило, що використання многопозиційної модуляції QAM разом з налагодженим співвідношенням сигнал-шум дійсно відіграють ключову роль у забезпеченні надійного впровадження цифрового телебачення в кабельних телевізійних системах. Завдяки цим технологіям вдається досягти низького рівня помилок бітів, що є критичним для якісної передачі великої кількості інформації через обмежений спектр кабельного каналу. Таким чином, ці висновки відкривають перспективи для подальшого розвитку цифрового телебачення і його впровадження в майбутніх системах телекомунікацій.

2.4 Імітаційне моделювання системи цифрового мобільного телевізійного мовлення DVB-H.

DVB-H є спеціальним варіантом DVB-T для передачі телевізійних сигналів на мобільні термінали з врахуванням їх особливостей та обмежень.

Система DVB-H була реалізована в програмному середовищі Matlab.

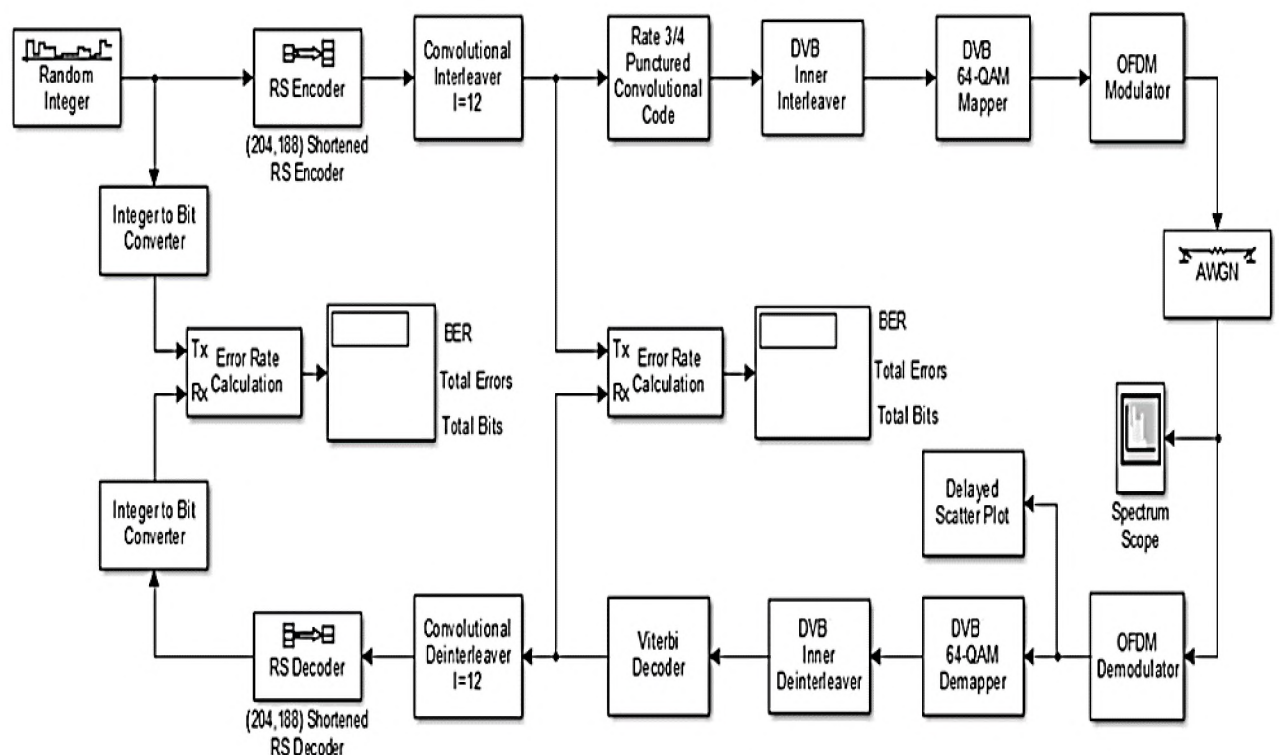


Рисунок 2.34 – Структурна схема DVB-H в режимі 2k Mode

Передавальна частина структурної схеми системи складається з таких блоків:

- RandomInteger – Генератор псевдовипадкової послідовності.

- RSEncoder – Код Ріда-Соломона (255,191).
- ConvolutionalInterleaver – Згортковий перемежувач.
- PuncturedConvolutionalCode – Згортковий кодер з породжувальними поліномами $G1=171$ і $G2=133$.
- DVB Inner Interleaver – Внутрішній перемежувач, що складається з біт перемежувача і символного переміжувача. У бітовому переміжувачі дані демультимплексуються на v підпотоків, де $v = 2, 4$ і 6 для QPSK, 16-QAM і 64-QAM, відповідно.
- DVBM-QAM Mapper – Усі дані піднесучих об'єднуються в одному символі
- OFDM, які модулюються з використанням QPSK, 16-QAM, 64-QAM.
- OFDM Modulator – Кожен символ складається з 6817 і 1705 несучих для 8k і 2k режимів відповідно. Тривалість символу складається з двох частин: корисна частина і захисний інтервал (1/4, 1/8, 1/16, 1/32).
- AWGN – Канал із шумами.

Модель системи DVB-H в програмі Matlab.

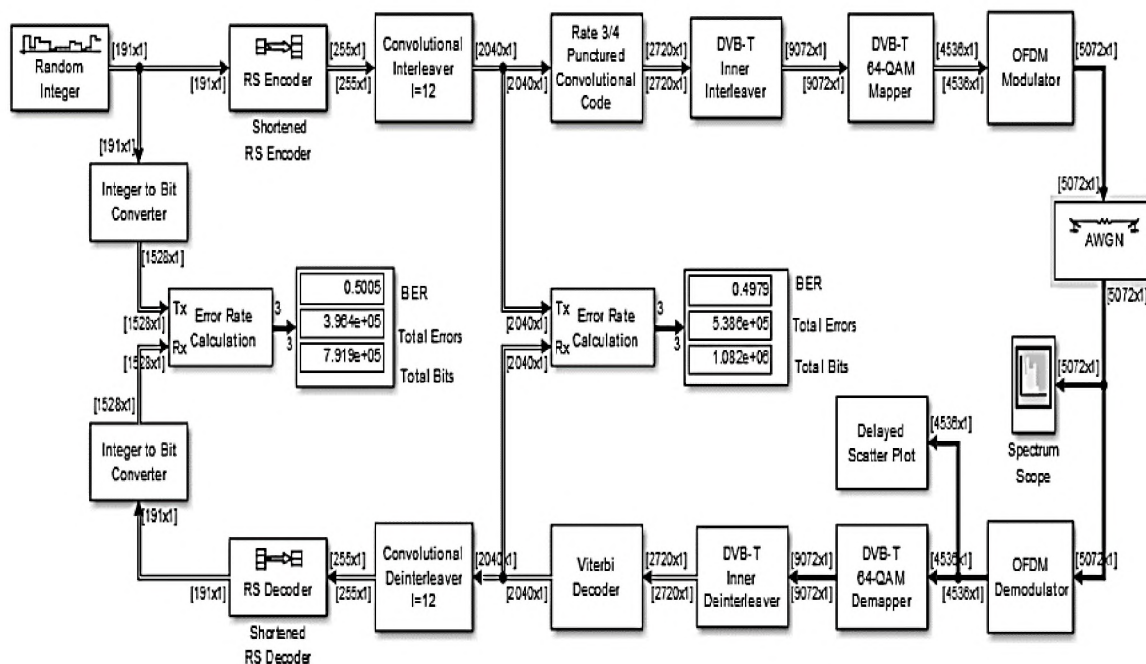


Рисунок 2.35 – Функціональна схема системи DVB-H реалізована в Matlab Simulink

Виставити необхідні параметри для таких блоків: Random-Integer Generator, RS Encoder-Decoder, Параметри DVB Inner Deinterleaver (Buffer3), OFDM modulator/demodulator (для QPSK довжина FFT: 5072, для 16-QAM довжина FFT: 2804).

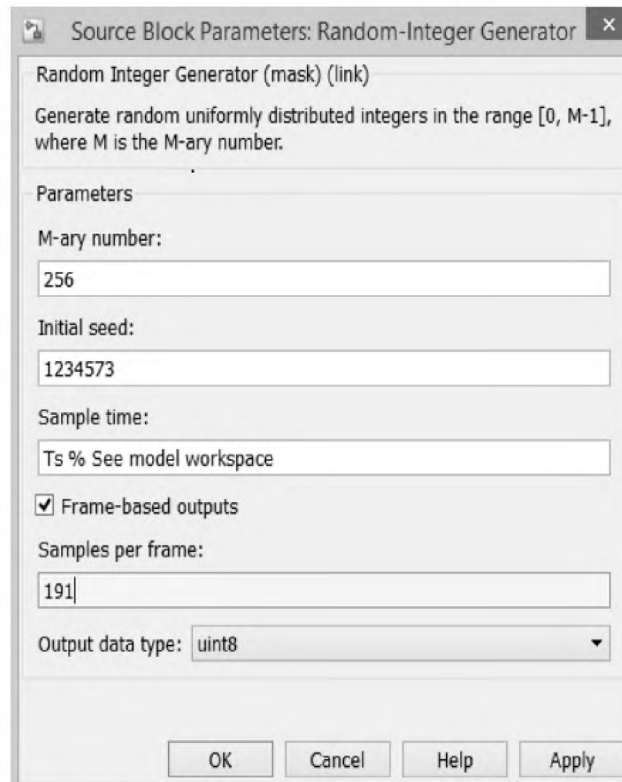


Рисунок 2.36 – Параметри Random-Integer Generator

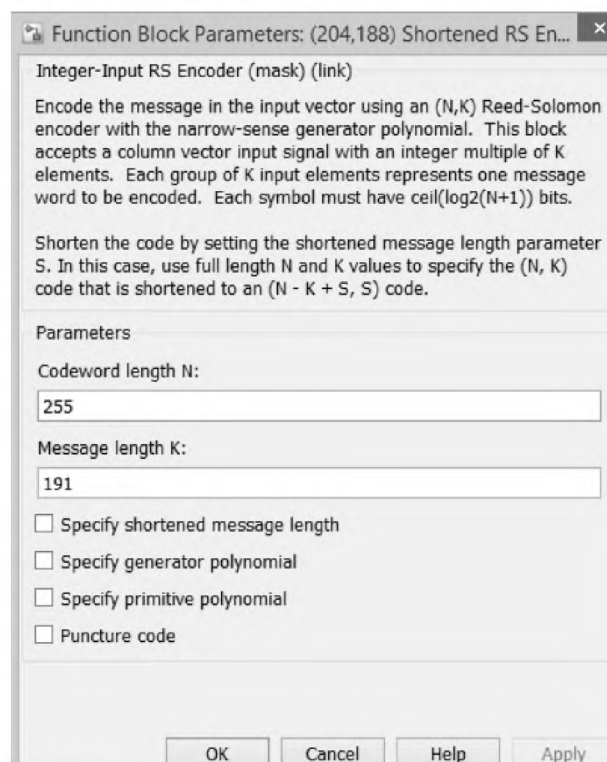


Рисунок 2.37 – Параметри RS Encoder-Decoder



Рисунок 2.38 – Параметры DVB Inner Deinterleaver (Buffer3)

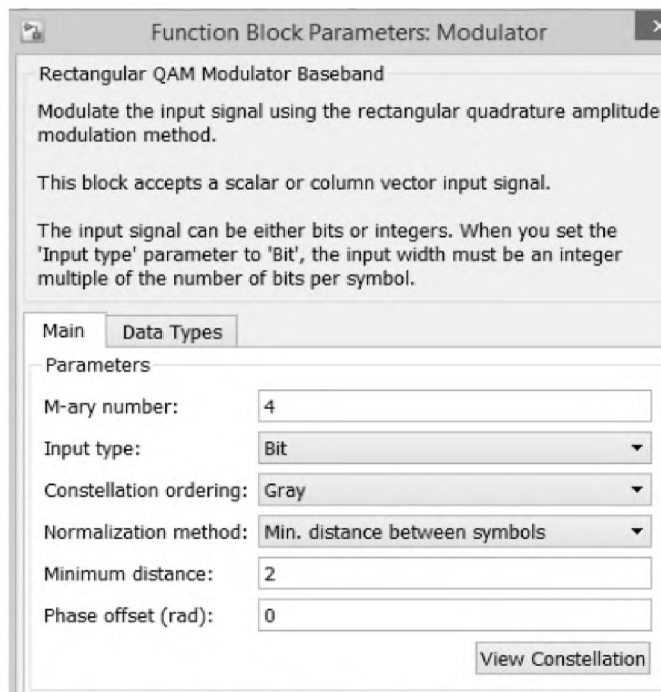


Рисунок 2.39 – Параметры QPSK

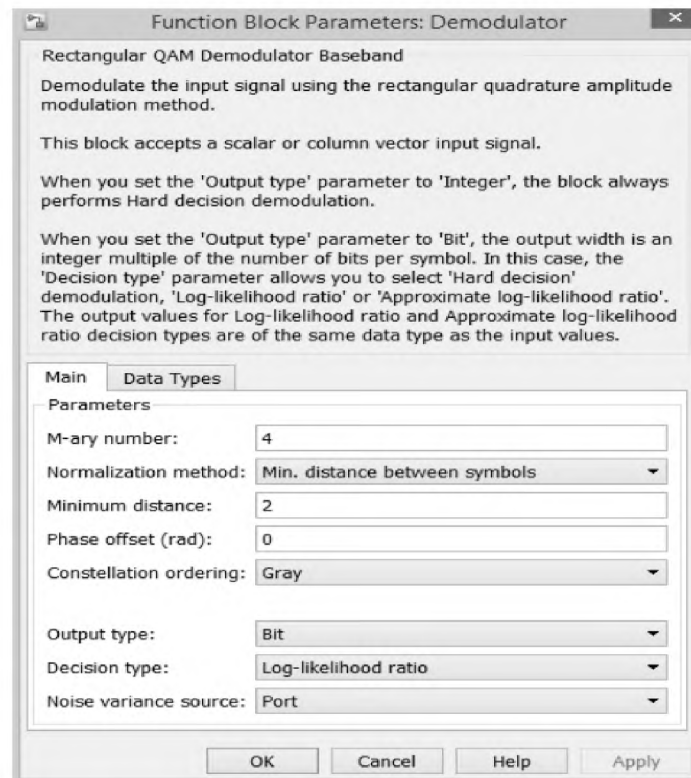


Рисунок 2.40 – Параметры QPSK модулятора

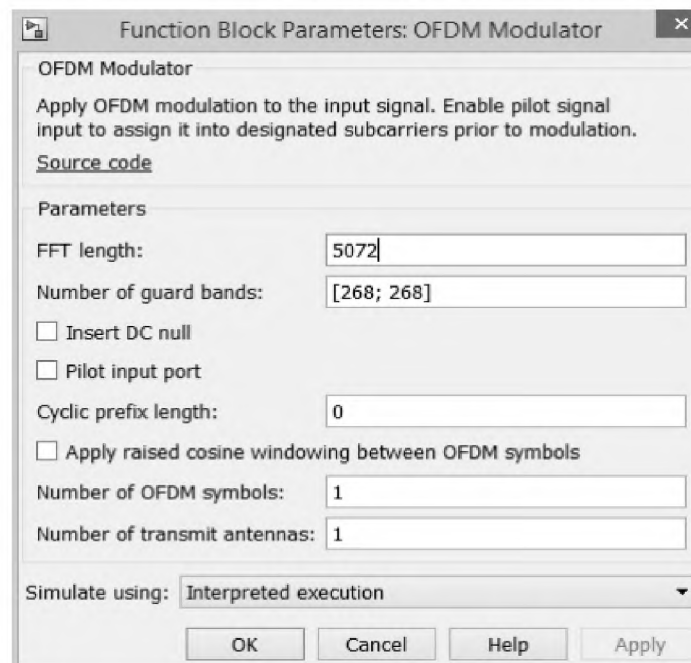


Рисунок 2.41 – Параметры OFDM modulator-demodulator

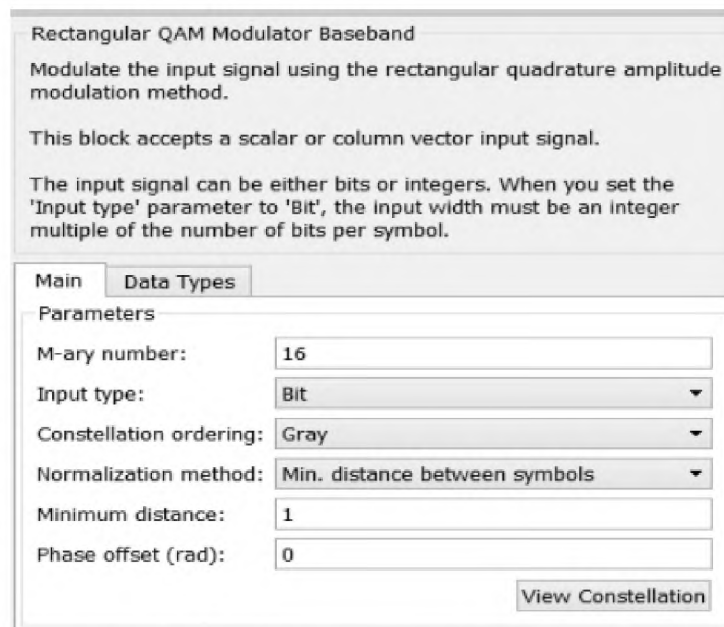


Рисунок 2.42 – Параметры 16-QAM модулятора

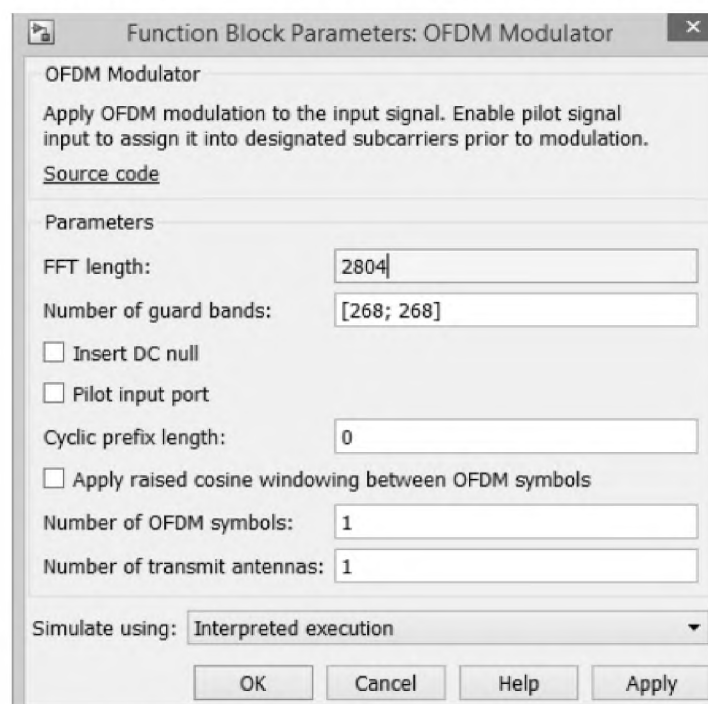


Рисунок 2.43 – Параметры OFDM modulator-demodulator

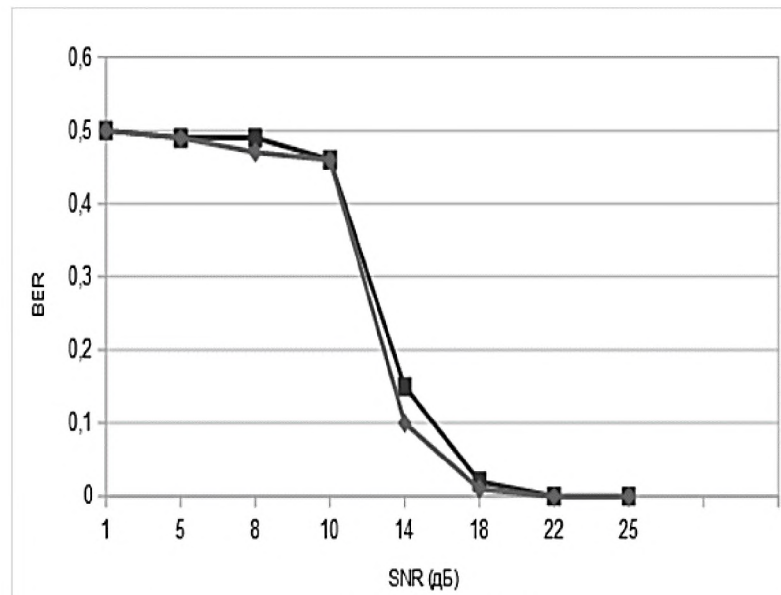


Рисунок 2.44 – Залежність BER від SNR для системи DVB-H при використанні QPSK и 16-QAM (великі квадрати)

При дослідженні залежності бітової ймовірності бітової помилки від відношення сигнал/шум розглянутої системи мобільного мовлення було знято зображення спектра переданого сигналу і діаграми сузір'їв QPSK і 16-QAM досліджуваної системи за SNR, що дорівнює 1 дБ, 18 дБ.

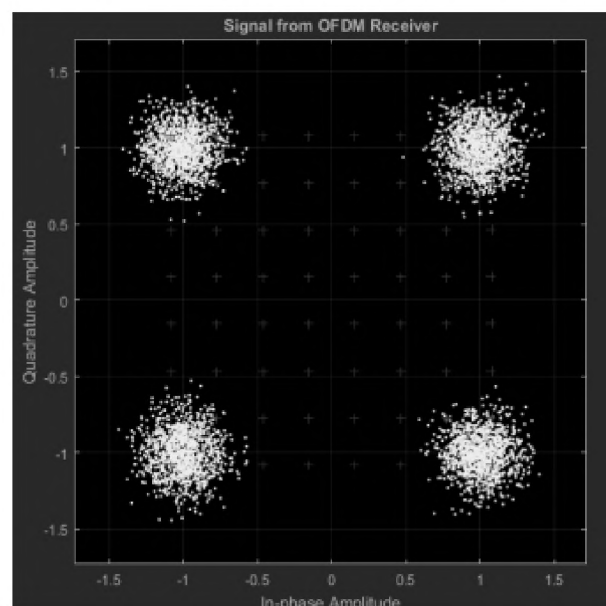


Рисунок 2.45 – Спектр OFDM-сигналу

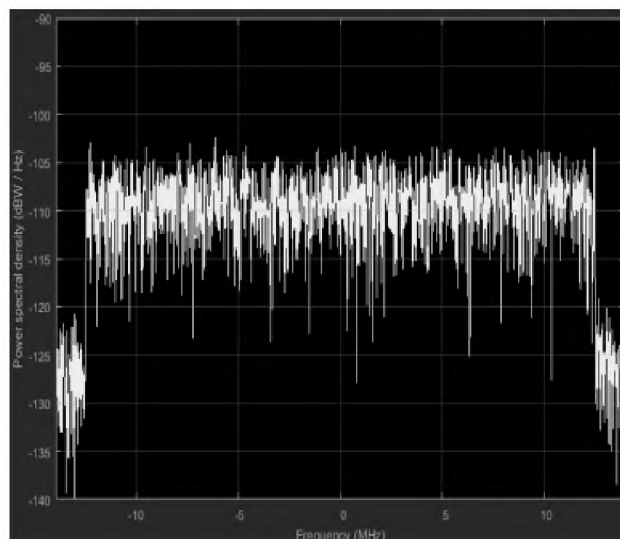


Рисунок 2. 46 – Діаграма сузір'їв QPSK за SNR=18Б

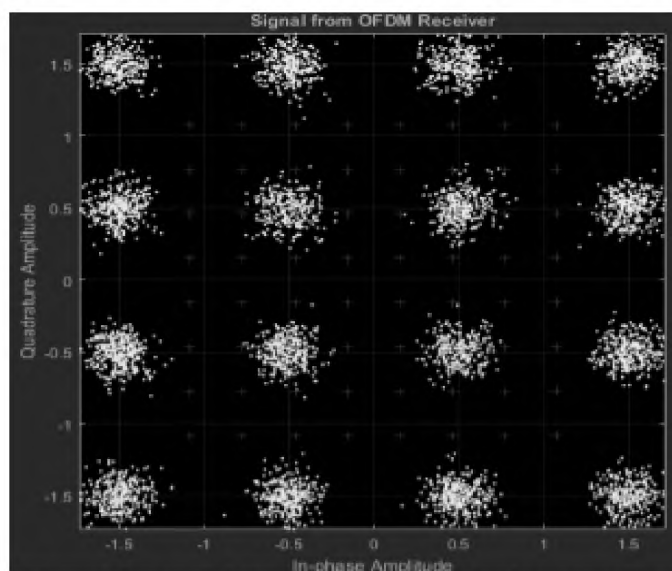


Рисунок 2.47 – Спектр OFDM-сигналу і діаграма сузір'їв QPSK за SNR=18Б

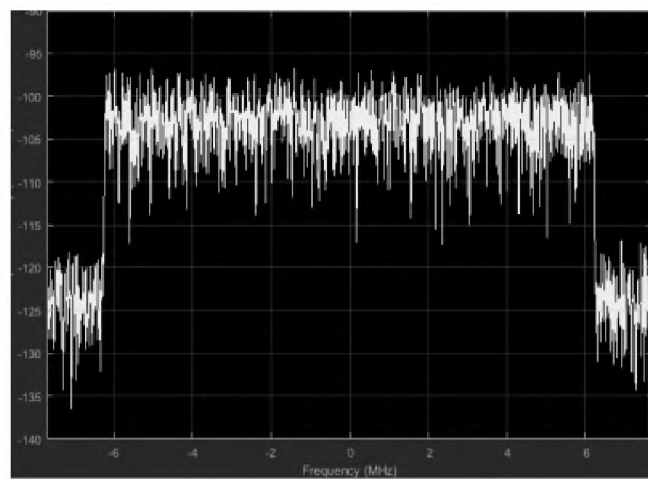


Рисунок 2.48 – Діаграма сузір'їв 16-QAM за SNR=18Б

Під час виконання практичної частини магістерської роботи були досліджені основні теоретичні аспекти системи цифрового мобільного телевізійного стандарту DVB-H.

Окрім цього, була побудована залежність ймовірності помилки біта від відношення сигнал/шум для модуляції QPSK та 16-QAM. Були зняті зображення спектра OFDM-символу та діаграм сузір'їв QPSK та 16-QAM при проходженні сигналу через канал з адитивним білим гаусовським шумом. Отримані під час моделювання дані дають змогу зробити висновок, що безпомилкова передача даних по каналу зв'язку у системі DVB-T можлива при відношенні сигнал/шум не менше 18 дБ.

DVB-H є оновленням до основного стандарту, яке вирішує проблеми мобільного прийому. Головне нововведення – timeslicing. Трансмітер циклічно видає в ефір пакети, що належать усім трансльованим каналам по черзі. Передача здійснюється короткими імпульсами з використанням максимальної пропускної здатності каналу. Приймач включається лише в певні моменти, коли необхідно завантажити наступну порцію відео-потoku. Це дозволило в 10 разів збільшити тривалість автономної роботи портативних телевізорів. Справа в тому, що для прийому DVB-T застосовуються досить складні мікросхеми, виконуються інтенсивні математичні обчислення. І коли система працює постійно, без перерви, то автономність найкращих зразків мобільних пристроїв досягає 20-40 хвилин. З свого боку техніка, заснована на DVB-H, може функціонувати до 10 годин від одного заряду батареї.

Інша особливість стандарту – висока стійкість до перешкод завдяки введенню механізму корекції помилок. В звичайному DVB-T використовується розсіяний прийом на декілька антен, що дозволяє системі вибирати найменше пошкоджений сигнал. У портативному пристрої таке рішення втілити важче.

Третя важлива особливість: DVB-H базується на IP-протоколі, а це значно спрощує та здешевлює побудову допоміжної інфраструктури. Стає можливим використання готових, недорогих програмних рішень.

2.5 Висновки

Звітування та дослідження у сфері телекомунікацій відкрило переді мною важливі аспекти сучасних стандартів та технологій передачі даних. Практична частина моєї магістерської роботи дозволила глибоко вивчити різні аспекти роботи систем передачі даних, порівняти їх характеристики та зрозуміти, як вони працюють в різних сценаріях.

У процесі дослідження, я ретельно аналізував вплив різних параметрів систем на якість передачі даних. Імітаційне моделювання на платформі MATLAB Simulink дозволило мені відтворити реальні умови передачі та оцінити рівень ефективності та стійкості різних стандартів.

Спочатку, я вивчав основні види модемів та кодеків стандартів DVB-T, DVB-S, DVB-S2, DVB-C, DVB-H та DVB-H2. Це відкрило мені загальну картину різноманітних технологій, які використовуються для передачі даних через різні мережі та канали. Проведене моделювання дозволило мені глибше розуміти, як різні системи працюють та які особливості впливають на їхню продуктивність.

Порівнюючи результати моделювання для різних стандартів, я зміг визначити, що кожен стандарт має свої переваги та обмеження. Наприклад, для мобільних мереж, таких як GSM та CDMA, ключовими завданнями є забезпечення стійкості сигналу та високої швидкості передачі даних. У випадку WiFi та ZigBee, зв'язок повинен бути стійким та стабільним навіть в умовах багатолучовості та перешкод.

Дослідження телевізійних стандартів, таких як DVB-T, DVB-S та DVB-S2, розкрило важливість забезпечення якісного сигналу та високої роздільної здатності для відтворення відео. Цифрові кабельні та мобільні телевізійні системи DVB-C, DVB-H та DVB-H2 також вимагають надійного прийому сигналу та ефективного використання ресурсів.

Загалом, моделювання телекомунікаційних систем було важливим кроком у моєму дослідженні. Воно надало мені можливість більш глибоко розібратися у принципах роботи різних технологій та зрозуміти, як вони взаємодіють з реальними умовами передачі даних. Отримані результати виявилися важливими для подальших розробок та вдосконалення телекомунікаційних систем у майбутньому.

РОЗДІЛ ІІІ. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

У цьому проекті були розроблені імітаційні моделі для DVB T, S, C, H – систем наземного, супутникового, мобільного цифрового зв'язку. В економічному розділі проводиться аналіз одноразових капітальних витрат, пов'язаних з розробкою цієї системи.

3.1 Визначення обсягу робіт із розробки моделей

Обсяг робіт із створення моделі визначається шляхом розбиття процесу на окремі етапи, починаючи зі складання технічного завдання і завершуючи оформленням документації. Кожен з цих етапів має власний часовий розподіл, який допомагає визначити загальну трудомісткість.

За умовою, що роботу виконує один проектувальник:

$$t = tmz + tv + ta + tnp + tonp + t\partial \text{ [год]}, \quad (3.1)$$

де:

tmz – тривалість складання технічного завдання на впровадження методу;

tv – тривалість вивчення технічного завдання (ТЗ) та літературних джерел за темою;

ta – тривалість розробки моделі;

tnp – тривалість модулювання віртуального аналога каналу зв'язку;

$tonp$ – тривалість опрацювання здобутих характеристик;

$t\partial$ – тривалість підготовки технічної документації.

Вихідні дані для визначення трудомісткості створення моделі приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Тривалість розробки моделі

tmz ,	tv ,	ta ,	tnp ,	$tonp$,	$t\partial$,
год	год	год	год	год	год
65	70	82	28	29	40

Розрахуємо трудомісткість розробки моделі за формулою (3.1):

$$t = 65 + 70 + 82 + 28 + 29 + 40 = 314 \text{ [год]}$$

3.1.1 Розрахунок витрат на розробку моделі

Вартість розробки $K_{ПЗ}$ -моделі включає в себе дві основні складові: витрати на оплату праці розробника (заробітна плата) та вартість використання обчислювального часу для обробки мережевої моделі на комп'ютері з високою обчислювальною потужністю:

$$K_{ПЗ} = Z_{ЗП} + Z_{МЧ} \text{ [грн]} \quad (3.2)$$

Заробітна плата враховує різні компоненти, такі як основна та додаткова оплата праці, а також відрахування на соціальні потреби (такі як пенсійне страхування, страхування в разі безробіття та інші види соціального захисту). Ці складові розраховуються за певною формулою:

$$Z_{ЗП} = t \cdot Z_{пр} \text{ [грн]}, \quad (3.3)$$

де: t – трудомісткість створення моделі;

$Z_{пр}$ дорівнює 150 грн/год.

Розрахуємо заробітну платню проєктувальника за формулою (3.3):

$$Z_{ЗП} = 314 \cdot 150 = 47100,00 \text{ [грн]}$$

Вартість використання обчислювального часу на персональному комп'ютері обчислюється за певною математичною формулою:

$$Z_{МЧ} = (t_a + t_{np} + t_{onp} + t_d) \cdot C_{мч} \text{ [грн]}. \quad (3.4)$$

де: $C_{мч}$ – вартість 1 години машинного часу ПК, грн/година.

Вартість однієї години використання обчислювального часу на персональному комп'ютері обчислюється шляхом застосування конкретної математичної формули:

$$C_{мч} = P_e \cdot t \cdot C_e + \frac{\Phi_{перв} \cdot H_a}{F_p} + \frac{K_{лнз} \cdot H_{анз}}{F_p} \text{ [грн/год]}, \quad (3.5)$$

де:

P_e – встановлена потужність робочої машини;

t – трудомісткість створення моделі;

C_e – витрати на електроенергію;

$\Phi_{перв}$ – початкова вартість комп'ютера на початок року;

H_a – річна норма амортизації на ПК;

$K_{лнз}$ – вартість ліцензійного ПЗ;

$H_{анз}$ – річна норма амортизації на ліцензійне програмне забезпечення;

F_p – річний фонд робочого часу (за 40-годинного робочого тижня).

Енерговитрати розраховуються за формулою:

$$C_e = P_e \cdot C_{кВт} \quad [\text{грн/год}], \quad (3.6)$$

де $C_{кВт}$ - тариф на електричну енергію.

Розрахунок витрат на розробку моделі зводимо в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2. – Розрахунок витрат на розробку моделі

P_e , кВт	$C_{кВт}$ кВт·год	$\Phi_{перв}$, грн	H_a , частка одиниці	$K_{лнз}$, грн	$H_{анз}$, частка одиниці	F_p , год
1,7	2,64	33000,00	0,4	15999,00	0,4	2080,00

Тоді, за формулою (3.6) отримаємо розмір енерговитрат:

$$C_e = 1,7 \cdot 2,64 = 4,488 \quad [\text{грн/год}].$$

Річна норма амортизації при використанні методу прискореної зменшеної вартості визначається шляхом застосування певної математичної формули:

$$H_a = 2/T \cdot 100\% \quad (3.7)$$

де T – строк корисного використання персонального комп'ютера, дорівнює 5 років.

Розрахуємо річну норму амортизації за формулою (3.7):

$$H_a = 2/5 \cdot 100\% = 40\% = 0,40 \quad [\text{частки одиниці}]$$

Строк корисного використання ліцензійного програмування дорівнює 5 років.

Річна норма амортизації на ліцензійне програмне забезпечення визначається за формулою (3.7):

$$H_{амз} = 2/5 \cdot 100\% = 40\% = 0,40 \text{ [частки одиниці]}$$

Ліцензійне програмне забезпечення, яке використовується в даному випадку Microsoft Windows 10 Pro for Workstations x64. Його вартість 15999 грн.

Вартість однієї години машинного часу ПК визначаються за формулою (3.5):

$$Смч = 1,7 \cdot 314 \cdot 2,64 + \frac{33000 \cdot 0,40}{2080} + \frac{15999 \cdot 0,40}{2080} = 1418 \text{ [грн/год]}$$

Розрахуємо вартість машинного часу за формулою (3.4):

$$З_{мч} = (69 + 19 + 19 + 29) \cdot 518,82 = 253822,00 \text{ [грн]}$$

Отже, підставивши отримані результати у формулу (3.2), отримаємо величину витрат на розробку моделі:

$$K_{нз} = 47100 + 253822,00 = 300922,00 \text{ [грн]}$$

3.2 Розрахунок капітальних витрат

Загальні капітальні витрати на розробку визначаються за формулою:

$$KЗ = K_{нз} + K_{навч} + K_n \text{ [грн]}, \quad (3.8)$$

де $K_{навч}$ - витрати на навчання технічних фахівців і обслуговуючого персоналу;

K_n - витрати, пов'язані з встановленням обладнання та налагодженням системи.

Дані про витрати на розробку моделі зводимо в таблицю 3.3

Таблиця 3.3 – Витрати на розробку моделі.

$K_{нз}$, грн	$K_{навч}$, грн	K_n , грн
300922,00	7100,00	2660,00

Отже, капітальні витрати становлять:

$$KЗ = 300922,00 + 7100 + 2660 = 310682,00 \text{ [грн]}$$

3.3 Висновки

Під час розрахунків було визначено, що загальний час, необхідний для розробки імітаційних моделей DVB-систем зв'язку, склав 314 годин.

Окрім того, була вказана заробітна плата проектувальника, яка становить 47100, 00 гривень.

Також, здійснено підрахунки витрати на розробку моделі, які склали 253822, 00 гривень.

Для розробки імітаційних моделей DVB-систем зв'язку наземного, супутникового, мобільного та кабельного зв'язку були визначені капітальні витрати на суму 310682,00 гривень.

ВИСНОВКИ

Дослідження цифрових телевізійних стандартів DVB-T, DVB-C, DVB-S та DVB-H виявило їхню високу ефективність у передачі даних через різні канали зв'язку. Моделювання системи DVB-T підтверджує можливість безпомилкової передачі при оптимальному співвідношенні сигнал/шум. Використання многопозиційної модуляції QAM та високого відношення сигнал/шум у DVB-C індикативно для успішної імплементації в системах кабельного телебачення. DVB-S та DVB-H продемонстрували високу ефективність при передачі через різноманітні канали зв'язку. Отже, перший розділ роботи підкреслює важливість та перспективність використання вказаних стандартів у високотехнологічних телекомунікаційних системах.

У результаті досліджень можна визначити високу ефективність та надійність цифрових телевізійних стандартів DVB-T, DVB-S, DVB-C та DVB-H. Моделювання системи DVB-T дозволило підтвердити можливість безпомилкового передавання даних при співвідношенні сигнал/шум не менше 17 дБ. Алгоритм DVB-S2 виступив проміжним етапом між DVB-S і DVB-C2, а використання многопозиційної модуляції QAM у DVB-C значно знизило ймовірність помилок BER, сприяючи успішній імплементації цифрового телебачення в кабельних системах. Дослідження DVB-H вказують на можливість безпомилкової передачі даних при співвідношенні сигнал/шум не менше 18 дБ. Це підкреслює важливість вибору відповідних стандартів для розвитку сучасних цифрових телекомунікацій в різних умовах каналів зв'язку.

Капітальні витрати на розробку імітаційних моделей DVB (T,S,C,H)-систем зв'язку в MATLAB складають 310682,00 гривень. Ця сума включає витрати на програмне забезпечення, розробку коду та схем та витрати на трудові ресурси.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Цифрове телебачення / Под редакцией Х.С.Соатова И.А.Гаврилов, Т.Г.Рахимов, А.Н.Пузий, Х.Х.Носиров, Ш.М.Кадиров/ Ташкент .400с/2015
- 2 Основи радіомовлення та телебачення: Навчальний посібник/С.Р. Пап'ян. – Єреван: РАУ, 2017. – 328 с
- 3 Measurement guidelines for DVB systems; Amendment for T2MI (Modulator Interface); DVB Document A141, VI, 2012. — 16 p. / http://www.dvb.org/resources/public/standards/A141_Measurement_Guide_T2MI.pdf
- 4 The DVB Project official site. Standards: DVB-S2 [Електронний ресурс] URL: <https://www.dvb.org/standards/dvb-s2>
- 5 Стандарт DVB-T2 [Електронний ресурс] // Radiofishka <https://radiofishka.in.ua/uk/content/standart-dvb-t2>
- 6 Технології цифрового телебачення/Навчальний посібник / Рутгайзер О.З. , Урусова Т.А/АУЕС. Алмати, 2014. – 56 с
- 7 Математичні основи теорії телекомунікаційних систем. / В.В. Поповський, СО. Сабурова, В.Ф. Олійник, ЮЛ. Лосев, Д.В.Агеев, та ін.: За загальною редакцією В.В. Попівського. - Харків: ТОВ « Компанія СМІТ», 2006.-564 с
- 8 Стеценко, І.В. Моделювання систем: навч. посіб. [Електронний ресурс, текст] / І.В. Стеценко ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2010. – 399 с.
- 9 Технологія DVB-C2/електронний ресурс.
URL: https://www.rohde-schwarz.com/cac/technologies/cable_tv/dvb-c2/dvb-c2-technology/dvb_c2_technology_55523.htm
- 10 Implementation and performance study of the LDPC coding in the DVB-S2 link system using MATLAB.
URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7951982>

ДОДАТОК А. ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№	Формат	Найменування	Кількість листів	Примітки
<i>Документація</i>				
1	A4	Реферат	2	
2	A4	Список умовних скорочень	3	
3	A4	Зміст	2	
4	A4	Вступ	1	
5	A4	Стан питання. Постановка задачі	43	
6	A4	Спеціальна частина	28	
7	A4	Економічний розділ	5	
8	A4	Висновки	1	
9	A4	Перелік посилань	1	
10	A4	Додаток А	1	
11	A4	Додаток Б	1	
12	A4	Додаток В	1	
13		Матеріали дипломного проекту на оптичному носії		Оптичний диск

ДОДАТОК В. ВІДГУК КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ
ВІДГУК НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

Студента

Потакієва О.О.

гр. 172м-22-1

(прізвище, ім'я)

на тему: «Дослідження характеристик систем цифрового телебачення
на основі імітаційного моделювання»

Актуальність теми

Повнота розкриття теми

Теоретичний рівень

Практична значущість

Самостійність виконання роботи

Якість оформлення, загальна та спеціальна грамотність

Переваги та недоліки роботи

Загальна оцінка роботи та висновок щодо рекомендації до
захисту в ДЕК

Науковий керівник

к.ф.-м.н., професор

(посада)

(підпис)

Гусєв О.Ю.

(ініціали, прізвище)

«_____» _____ 2023 р.