

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку

Кафедра радіоелектронних систем та технологій

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
ДЛЯ КУРСОВОГО ТА ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУВАННЯ
ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ
МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ТА ОЦІНКА
ЕФЕКТИВНОСТІ СУЧАСНИХ
СИСТЕМ ЦИФРОВОГО МОВЛЕННЯ**

Одеса 2024

УДК 621.396.61

Автори:

Баляр В.Б., кандидат технічних наук, доцент кафедри радіоелектронних систем та технологій Державного університету інтелектуальних технологій та зв'язку.

Кольцова О.С., кандидат технічних наук, доцент кафедри радіоелектронних систем та технологій Державного університету інтелектуальних технологій та зв'язку.

Мазуркевич О.Ф., старший викладач кафедри радіоелектронних систем та технологій Державного університету інтелектуальних технологій та зв'язку.

Рецензенти:

Виходець О.А., старший науковий співробітник відділу радіомовлення ДП «Український науково-дослідний інститут радіо та телебачення»;

Лісовий І.П., доктор технічних наук, професор кафедри комутаційних систем електронних комунікацій Державного університету інтелектуальних технологій та зв'язку.

*Рекомендовано до друку Навчально-методичною Радою
Державного університету інтелектуальних технологій і зв'язку
(протокол №___ від _____ 2024 р.)*

Баляр В.Б., Мазуркевич О.Ф., Кольцова О.С. Методика проектування та оцінка ефективності сучасних систем цифрового мовлення: методичні рекомендації до курсового та дипломного проектування здобувачів вищої освіти. Одеса: ДУІТЗ, 2024. 73 с.

Методичні рекомендації містять короткі теоретичні відомості про технічні характеристики окремих вузлів наскрізного тракту сучасних систем цифрового наземного, звукового та мультимедійного мовлення та настанови щодо виконання курсової роботи з курсу "Цифрове телевізійне, звукове та мультимедійне мовлення" з поясненням окремих етапів розрахунку та визначенням вимог до оформлення відповідного графічного матеріалу та результатів розрахунку. Наведено 30 варіантів індивідуальних завдань курсової роботи, які дозволять набути навичок з розрахунку характеристик сигналів цифрового мовлення з метою виконання технічних вимог, що їх висувають під час проектування.

Методичні рекомендації призначено студентам усіх форм навчання за спеціальністю 172 "Телекомунікації та радіотехніка" ДУІТЗ для здобуття практичних знань студентами, які вивчають дисципліни "Цифрове телевізійне, звукове та мультимедійне мовлення", "Технології доставки мультимедійного контенту", "Інтерактивні мультимедійні застосовання" під час дипломного проектування, а також будуть корисними аспірантам та науковим співробітникам за відповідною тематикою.

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП.....	4
1 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	5
2 ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	7
3 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ	9
3.1 Вступ.....	9
3.2 Визначення характеристик аудіовізуальних сигналів, що підлягають передаванню через систему цифрового телевізійного мовлення	9
3.3 Аналіз характеристик транспортного потоку для розподілу через систему цифрового телевізійного мовлення	20
3.4 Оцінка параметрів системи цифрового телевізійного мовлення заданого типу	26
3.5 Оцінка параметрів системи цифрового звукового мовлення DRM	46
4 ВИСНОВКИ	59
5 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	59
Додаток А. Індивідуальні варіанти курсової роботи.....	61
Додаток Б. Довідковий матеріал для визначення швидкості цифрового потоку.....	68
Додаток В. Приклад титульної сторінки до курсової роботи.....	73

ВСТУП

Дисципліна “Цифрове телевізійне, звукове та мультимедійне мовлення” викладається у модулі 4.1 студентам четвертого курсу очної, які навчаються за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка. Методи та алгоритми розв’язання інженерних задач, що надані в цих методичних вказівках, можуть бути використані студентами, які вивчають дисципліни “Цифрове телевізійне, звукове та мультимедійне мовлення”, “Системи цифрового телебачення та звукового мовлення”, під час дипломного проектування та ін.

Метою дисципліни “Цифрове телевізійне, звукове та мультимедійне мовлення” є формування знань щодо принципів побудови, технічних і експлуатаційних характеристик сучасних засобів цифрового телевізійного, звукового та мультимедійного мовлення; формування знань щодо базових принципів побудови та параметрів окремих елементів наскрізного тракту цифрового мовлення з урахуванням розвитку сучасних технологій; формування вмінь з побудови, організації, технічної експлуатації, моніторингу експлуатаційного стану засобів цифрового мовлення; формування знань і вмінь з забезпечення якості роботи систем, мереж і засобів передавання аудіовізуальної інформації через тракти систем цифрового телевізійного, звукового та мультимедійного мовлення.

Метою цих методичних вказівок є надання роз’яснень для вирішення поставлених завдань під час розрахунку характеристик окремих елементів наскрізного тракту систем цифрового телевізійного, звукового та мультимедійного мовлення згідно з технічними вимогами до якості роботи.

Курсове завдання містить 30 варіантів, що не повторюються. Студент за вказівкою викладача вибирає завдання згідно з номером прізвища студента у списку групи.

КУРСОВА РОБОТА

з дисципліни "Цифрове телевізійне, звукове та мультимедійне мовлення"

Мета: визначення технічних характеристик систем цифрового телевізійного, звукового та мультимедійного мовлення з урахуванням вимог до рівню якості роботи системи, а також набуття практичних навичок розв'язання інженерних задач під час проектування та технічної експлуатації відповідного обладнання.

1 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Структурними елементами курсової роботи є:

1. Титульний лист.
2. Зміст.
3. Вступ.
4. Розділи основної частини.
5. Висновки
6. Рекомендована література

Курсова робота повинна мати такі розділи:

- 1 Вступ.
- 2 Визначення характеристик аудіовізуальних сигналів, що підлягають передаванню через систему цифрового телевізійного мовлення.
- 3 Аналіз характеристик транспортного потоку для розподілу через систему цифрового телевізійного мовлення.
- 4 Оцінка параметрів системи цифрового телевізійного мовлення заданого типу.
- 5 Висновки.
- 6 Рекомендована література.

Пояснювальна записка, в разі якщо виконується в текстовому редакторі Microsoft Word, має бути виконана шрифтом Times New Roman розміром 14, вирівнювання тексту – по ширині, інтервал одинарний, інтервал перед та після 3 пт., абзацний відступ – 1,25 см, переноси слів мають бути встановлені на режим "Авто" з шириною зони переносу слів 0,25 см.

Курсова робота оформляється друкованим способом з використанням комп'ютера та принтера на паперовому носії. Текст роботи повинен бути набраний в текстовому редакторі "Microsoft Word" з наступними параметрами: розмір (формат) паперу - A4 (21,0 см x 29,7 см); береги: верхнє - 2,0 см; нижнє - 2,0 см; ліве - 2,5 см; праве - 1,5 см.

При рукописному способі написання використовуються паста одного кольору (чорного, синього або фіолетового). Щільність тексту повинна бути рівномірною. *Вписувати* в текст слова, формули, умовні знаки допускається тільки одним кольором з текстом при одній і тій самій щільності.

Титульний лист є *першим* листом курсової роботи і заповнюється за прикладом, наведеним у додатку В.

Кожний розділ курсової роботи, який відповідає окремому завданню, слід починати з нового аркуша. Заголовки розділів друкуються симетрично тексту прописними літерами. Заголовок підрозділів друкується з абзацу, малими літерами, крім першої великої. Перенесення слів у заголовках не допускаються. Крапку в кінці заголовка не ставлять. Якщо заголовок складається з двох речень, їх розділяють крапкою.

Слова-заголовки відповідного розділу роботи друкуються на окремому рядку прописними літерами (ЗМІСТ, ВСТУП, ВИСНОВКИ), повинні служити заголовками відповідних структурних частин роботи. Підкреслення заголовка не допускається.

Сторінки нумерують арабськими цифрами у верхньому колонтитулі по центру. Титульний лист включається в загальну нумерацію роботи. На титульному листі номер не ставиться. Нумерація сторінок повинна бути наскрізною.

Розділи курсової роботи повинні мати порядкову нумерацію в межах усієї роботи і позначатися цифрами з крапкою в кінці. Вступ і висновки не нумеруються.

Якщо розділи поділяються на підрозділи, то вони нумеруються арабськими цифрами в межах кожного розділу. В кінці назви підрозділу крапка не ставиться, наприклад “3.2 Назва другого підрозділу третього розділу”.

Ілюстрації розміщують після першого посилання на них. Ілюстрації позначаються словом “Рисунок” і нумеруються послідовно арабськими цифрами в межах *розділу*. **Номер повинен складатися з номера розділу і порядкового номера ілюстрації, розділених крапкою**, наприклад “Рисунок 1.2 - Назва другого рисунку першого **розділу**”.

Таблиці нумеруються послідовно арабськими цифрами в межах розділу. Перед таблицею вказується її найменування. У лівому верхньому куті над відповідним найменуванням міститься напис “Таблиця” із зазначенням її номера та назви. Номер повинен складатися з номера розділу і порядкового номера таблиці, розділеного крапкою, наприклад “Таблиця 1.2 - Назва другої

таблиці першого розділу”. При перенесенні частини таблиці на інший лист вказують над нею, наприклад, “Закінчення табл. 1.2” (якщо на цьому листі розташовано закінчення таблиці) або “Продовження табл. 1.2” (якщо на цьому листі розташовано лише частину таблиці та її продовження розташовано на наступних листах). На всі таблиці повинні бути посилання в тексті.

Посилання в тексті на джерела наводяться у квадратних дужках із зазначенням номера, що відповідає списку літератури та сторінки із джерела посилання. Посилання оформлюється згідно з ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 “Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання”.

Курсові роботи, що не відповідають наведеним вище вимогам на перевірку не приймаються. Курсові роботи, що містять ідентичні текстові та розрахункові фрагменти, розглядаються як виконані не самостійно та будуть повертатись з заміною завдання.

2 ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ

2.1 Вступ

2.2 Визначення характеристик аудіовізуальних сигналів, що підлягають передаванню через систему цифрового телевізійного мовлення

Відповідно до індивідуального варіанта (табл. А.1 додатка А):

а) Для кожної телевізійної програми за вихідними даними вибрати комбінацію “профіль/ рівень ” для методів стиснення MPEG-2 або MPEG-4 AVC.

б) Для кожної телевізійної програми за критерієм заданого рівню суб’єктивної якості визначити швидкість цифрового потоку відео на виході кодеру, що працює за обраним в п. 2.2а) методом стиснення.

в) Для заданих параметрів сигналів звукового супроводу (кількість каналів звукового супроводу та ін.) за критерієм суб’єктивної якості визначити швидкість цифрового потоку.

г) Визначити швидкість цифрового потоку даних заданого типу (якщо такі використовують).

2.3 Аналіз характеристик транспортного потоку для розподілу через систему цифрового телевізійного мовлення

Відповідно до індивідуального варіанта (табл. А.1 додатка А):

а) Навести схему формування транспортного потоку для заданого набору програмних потоків.

б) Визначити кількісні показники (загальну кількість пакетів транспортного потоку, загальний обсяг поля адаптації) та швидкість транспортного потоку, який містить всі елементарні програмні потоки.

2.4 Оцінка параметрів системи цифрового телевізійного мовлення заданого типу

Відповідно до індивідуального варіанта (табл. А.1 додатка А):

а) Навести структурну схему системи цифрового телевізійного мовлення заданого типу та описати принцип оброблення вхідного транспортного потоку.

б) Вибір конфігурації системи цифрового телевізійного мовлення за критерієм вхідної швидкості цифрового потоку.

в) Визначити кількість нуль-пакетів, що необхідно вводити до транспортного потоку для забезпечення необхідної швидкості цифрового потоку на вході системи цифрового телевізійного мовлення.

г) Визначити розподіл ресурсу транспортного потоку для кожного типу елементарного потоку (відео, аудіо, дані) та для додаткової службової інформації.

д) Дати оцінку характеристикам системи цифрового телевізійного мовлення заданого типу.

2.5 Оцінка параметрів системи цифрового звукового мовлення DRM

Відповідно до індивідуального варіанта (табл. А.2 додатка А):

а) Навести структурну схему передавальної частини системи цифрового звукового мовлення у стандарті DRM та описати етапи формування сигналу, що передається.

б) Визначити можливі конфігурації системи цифрового звукового DRM мовлення для заданого типу програмного матеріалу та умов поширення радіосигналу.

в) Розрахувати радіус зони покриття передавальної станції DRM мовлення за умови використання кожної з обраних конфігурацій системи.

г) Дати рекомендації щодо вибору оптимальної конфігурації системи цифрового звукового DRM мовлення.

3 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

3.1 Вступ

У вступі мають бути наведені переваги та недоліки впровадження цифрових технологій в телевізійному, звуковому та мультимедійному мовленні, а також перелік основних послуг цифрового мовлення з визначенням їх особливостей. Для цього можуть бути використані посилання [1, 4-7, 12-15] або будь-яка інша література, яку запропоновано викладачем.

3.2 Визначення характеристик аудіовізуальних сигналів, що підлягають передаванню через систему цифрового телевізійного мовлення

а) Для кожної телевізійної програми за вихідними даними вибрати комбінацію “профіль/ рівень ” для методів стиснення MPEG-2 або MPEG-4 AVC.

б) Для кожної телевізійної програми за критерієм заданого рівню суб’єктивної якості визначити швидкість цифрового потоку відео на виході кодера, що працює за обраним в п. 3.2, а) методом стиснення.

в) Для заданих параметрів сигналів звукового супроводу (кількість каналів звукового супроводу та ін.) за критерієм суб’єктивної якості визначити швидкість цифрового потоку.

г) Визначити швидкість цифрового потоку даних заданого типу (якщо такі використовують).

а) Для кожної телевізійної програми за вихідними даними вибрати комбінацію “профіль/ рівень ” для методів стиснення MPEG-2 або MPEG-4 AVC.

На сьогодні у системах цифрового телевізійного мовлення використовують методи стиснення відеоінформації, базовані на MPEG-2 та MPEG-4 AVC. Це обумовлено тим, що в деяких країнах впровадження цифрових технологій мовлення почалось дуже давно – ще за часів, коли MPEG-2 масово було впроваджено в мовленнєве середовище, а MPEG-4 AVC був ще на стадії розроблення або початку свого впровадження. Крім того, стандарт MPEG-2 є досить розповсюдженою технологією, яка призводить до того, що вартість приймачів-декодерів є досить низькою. Все це обумовило те, що цей метод досі ще використовують в системах цифрового телевізійного мовлення й така ситуація буде зберігатись до повного переходу на стандарт MPEG-4 AVC або на більш ефективний метод стиснення.

У системах мультимедійного мовлення, основною вимогою яких є мінімальна швидкість цифрового потоку відео з забезпеченням максимального рівня суб’єктивної якості, зазвичай використовують тільки MPEG-4 AVC. Цей метод,

на відміну від MPEG-2, забезпечує необхідний компроміс між суб'єктивною якістю, швидкістю цифрового потоку відеоінформації та кількістю програм мультимедійного мовлення.

Метод стиснення, що має бути застосовний для тієї або іншої телевізійної програми, для кожного індивідуального варіанта задано в табл. А.1. Згідно з цим й здійснюється вибір комбінації “профіль/ рівень”.

Кодування цифрового потоку може визначати різні рівні якості зображення. Тому при збереженні загальної концепції стиснення сигналів можна застосовувати різні рівні складності алгоритмів кодування в межах одного методу. У системі стандартів MPEG з нескінченної безлічі можливих комбінацій алгоритмів і параметрів кодування виділена низка технічних рішень для використання в різних застосуваннях. Для цього передбачена система профілів і рівнів.

Профілі визначають використовувані методи стиснення й організацію цифрового потоку на виході кодера. Система MPEG-2 має п'ять профілів.

Простий профіль позначається SP (Simple Profile). У цьому профілі передбачені найпростіші методи стиснення без використання двостороннього передбачення (без В-кадрів).

Основний профіль – MP (Main Profile). Цей профіль реалізує всі можливості MPEG-2 зі стиснення сигналів, крім масштабованості.

Профіль із масштабуванням по відношенню сигнал/шум — SNRP (SNR Scalable Profile). Цей профіль використовує можливість побудови ієрархічного цифрового потоку. Базовий потік формується із застосуванням грубого квантування коефіцієнтів ДКП, а розширений потік несе інформацію про більш точне квантування. При використанні простого декодера або за поганих умов приймання декодується тільки базовий потік з більшим рівнем шуму квантування. При використанні розширеного потоку шум квантування можна суттєво знизити. Таким чином, система може адаптуватися до умов приймання за рахунок зміни якості зображення. *Цей профіль застосовують лише якщо необхідно забезпечити наявність двох відеосигналів з однаковою роздільною здатністю, але з різною якістю зображення.*

Профіль із масштабуванням щодо роздільної здатності – SSP (Spatially Scalable Profile). Тут також використовується ієрархічний цифровий потік. У цілому цифровий потік несе інформацію про максимальну роздільну здатність зображення, а в базовому потоці закладені проріджені відліки повного зображення. За допомогою цього профілю може бути забезпечена сумісність телебачення стандартної чіткості й високої чіткості. Приймач телебачення стандартної чіткості обробляє тільки базовий потік, а приймач телебачення високої чіткості – повний потік. *Цей профіль використовують лише якщо необхідно забез-*

печити наявність двох відеосигналів з однаковим сюжетом, але з різною роздільною здатністю.

Високий профіль – HP (High Profile). Високий профіль адаптується за частотою розгортки, дозволяючи здійснити передавання цифрового потоку, який можна декодувати з отриманням двох різних частот кадрів. Профіль використовується для обробки сигналів у професійній техніці й часто називається *професійним*, що обумовлює його найширше використання в професійних студійних застосуваннях

Рівні вказують на параметри зображення (роздільна здатність зображення, тип розгортки, частота кадрів). У табл. 1 наведені рівні MPEG-2 з визначенням відповідних параметрів зображення при структурі 4:2:0, що використовують в системах цифрового мовлення.

Таблиця 1 – Рівні MPEG-2 і відповідні параметри зображення

Рівень MPEG-2	Роздільна здатність (акт.)	Частота кадрів, Гц	Тип розгортки	Макс. швидкість цифрового потоку, Мбіт/с
Низький (LL)	320×240, 352×240	30	прогресивна	4
	352×288	25		
Основний (ML)	352×480, 544×480 640×480, 704×480 720×480	30		15
	352×576, 544×576 704×576, 720×576	25		
Високий-1440 (H14L)	1280×720	24, 25, 50, 30, 60	прогресивна	60
	1440×1080	50, 60	черезрядкова	
Високий-1920 (H19L)	1920×1080	24, 25, 30	прогресивна	80
		50, 60	черезрядкова	

У табл. 2 зазначені дозволені комбінації профілів і рівнів MPEG-2.

Таблиця 2 – Комбінації профілів й рівнів MPEG-2

Назва рівня	Профілі			
	MP	SNRP	SSP	HP
LL	×	×		
ML	×	×		×
H14L	×		×	×
H19L	×			×
Структура дискретизації	4:2:0			

Якщо необхідна роздільна здатність відсутня в наведеній таблиці, то в цій курсовій роботі слід обрати найближче прийнятне значення.

Комбінації рівнів і профілів визначають деякі підмножини загального стандарту MPEG-2 стосовно різних завдань. Комбінацію записують у такому форматі:

Назва профілю @ Назва рівня.

Наприклад, комбінація MP@ML, яку читають як основний профіль на основному рівні.

У стандарті на поліпшене відеокодування MPEG-4 AVC використовується система профілів і рівнів, представлена в табл. 3. У таблиці позначення @ вказує на словосполучення "при частоті кадрів".

У цій таблиці введені наступні позначення:

- *BP, Baseline Profile* – базовий профіль (основне застосування: відеоконференція й відеотелефонія);
- *MP, Main Profile* – основний профіль (основне застосування: цифрове мовлення, архівування відеоінформації);
- *XP, Extended Profile* – розширений профіль (основне застосування: потокове передавання відео через мережу Інтернет);
- *HiP, High Profile* – високий профіль (основне застосування: архівування відео у форматі ТБВЧ, цифрове кіно);
- *Hi10P, High 10 Profile* – високий профіль із десятирозрядним кодуванням (основне застосування: студійне кодування у форматі ТБВЧ);
- *Hi422P, High 4:2:2 Profile* – високий профіль із застосуванням структури дискретизації 4:2:2 (основне застосування: студійне кодування у форматі ТБВЧ, цифрове кіно, професійні відеоархіви);
- *Hi444PP, High 4:4:4 Predictive Profile* – високий профіль із передбаченням і структурою дискретизації 4:4:4 (основне застосування: студійне кодування у форматі ТБВЧ, професійні відеоархіви).

У табл. 3 наведено приклади роздільної здатності зображення й частот кадрів для відеосигналів на виході кодера стиснення відеоінформації.

У стандарті MPEG-4 AVC додатково визначено профілі, що призначені для кодування сигналів стереоскопічного (3DTV) та багаторакурсного (MVT) телебачення. Це профілі *Stereo High Profile* та *Multiview High Profile* відповідно. На сьогодні існує багато підходів до реалізації системи 3DTV, основні з яких будуть висвітлені в наступному підрозділі. Стиснення відеозображень стереоскопічного телебачення в більшості випадків базується на кодуванні двох потоків – базового двовимірного зображення (2D) та доповнення, що дозволяє перетворити двовимірне зображення у тривимірне.

Таблиця 3 – Профілі й рівні, визначені стандартом MPEG-4 AVC

Рівень	Максимальна швидкість цифрового потоку, Мбіт/с				Приклади роздільної здатності й частоти кадрів, що відповідають кожному з рівнів	Можливе застосування
	ВР, ХР, МР	НіР	Ні10Р	Ні422Р, Ні444РР		
1	0,064	0,080	0,192	0,256	128×96@30.9 / 176×144@15.0	Для мультимедійних застосувань
1b	0,128	0,160	0,384	0,512	128×96@30.9 / 176×144@15.0	
1.1	0,192	0,240	0,576	0,768	176×144@30.3 / 320×240@10.0 / 352×288@7.5	
1.2	0,384	0,480	1,152	1,536	320×240@20.0 / 352×288@15.2	
1.3	0,768	0,960	2,304	3,072	320×240@36.0 / 352×288@30.0	
2	2	2,5	6	8	320×240@36.0 / 352×288@30.0/ 176×144@30.0	
2.1	4	5	12	16	352×480@30.0 / 352×576@25.0	
2.2	4	5	12	16	352×480@30.7 / 352×576@25.6 / 720×480@15.0 / 720×576@12.5	Для ТВСЧ із черездядковою розгорткою
3	10	12,5	30	40	352×480@61.4 / 352×576@51.1 / 720×480@30.0 / 720×576@25.0	
3.1	14	17,5	42	56	720×480@80.0 / 720×576@66.7 / 1280×720@30.0	Для ТВСЧ із прогресивною розгорткою

Закінчення табл. 3

Рівень	Максимальна швидкість цифрового потоку, Мбіт/с				Приклади роздільної здатності й частоти кадрів, що відповідають кожному з рівнів	Можливе застосування
	ВР, ХР, МР	НіР	Ні10Р	Ні422Р, Ні444РР		
3.2	20	25	60	80	1280×720@60.0 / 1280×1024@42.2	Для телебачення підвищеної чіткості (EDTV)
4	20	25	60	80	1280×720@68.3 / 1920×1080@30.1 / 2048×1024@30.0	Для телебачення підвищеної чіткості (EDTV) із прогресивною розгорткою і телебачення високої чіткості (ТБВЧ) із черзрядковою розгорткою
4.1	50	62,500	150	200	1280×720@68.3 / 1920×1080@30.1 / 2048×1024@30.0	
4.2	50	62,500	150	200	1920×1080@64.0 / 2048×1080@60.0	Для телебачення високої чіткості (ТБВЧ) із прогресивною розгорткою
5	135	168,750	405	540	1920×1080@72.3 / 2048×1024@72.0 / 2048×1080@67.8 / 2560×1920@30.7 / 3680×1536@26.7	Для телебачення високої чіткості (ТБВЧ) із прогресивною розгорткою і телебачення надвисокої чіткості (ТБНВЧ)
5.1	240	300	720	960	1920×1080@120.5 / 4096×2048@30.0 / 4096×2304@26.7	

Під час кодування цього доповнення з метою усунення надлишковості величина швидкості цифрового потоку є меншою порівняно з випадком, коли два зображення стереоскопічного телебачення кодуються незалежно.

Таким чином, для оцінки швидкості цифрового потоку для стереоскопічного зображення може бути використано оцінки для швидкості цифрового потоку у випадку звичайного двовимірного зображення (табл. 1...3) з додаванням величини швидкості, що визначено в табл. 4.

Таблиця 4 – До розрахунку швидкості цифрового потоку для стереоскопічного зображення

Тип системи 3D-TV	Технологія формування зображення 3D-TV	Параметри розгортки та доповнення	Підвищення швидкості порівняно з звичайним зображенням
1	Незалежне формування зображень для лівого та правого ока	2×1080p/50	100 %
2	3 часовим перемеженням зображень для лівого та правого ока	1080p/100	70-90 %
3	3 просторовим перемеженням зображень для лівого та правого ока	2160p/100	70-90 %
4	Формування 2D-зображення та різницевого зображення	1080p/50+доповнення	40-80 %
5	Формування 2D-зображення з картою глибини	1080p/50+доповнення	20-60 %

У тому випадку, якщо необхідна роздільна здатність і частота кадрів відрізняється від наведених у таблиці, то в цій курсовій роботі слід вибрати конфігурацію кодера з параметрами роздільної здатності й частоти кадрів, найбільш близькими до заданих.

На підставі вимог, що висувають до системи цифрового телевізійного мовлення (табл. А.1), здійснюють вибір комбінації профілю й рівня для обох методів стиснення – для MPEG-2 або MPEG-4 AVC. При цьому обиратись можуть тільки комбінації профілів/ рівнів, що призначено використовувати для мовлення. Значення максимальної швидкості цифрового потоку відео має бути позначено $V_{\text{відео}M,N_{\text{макс}}}$, де M, N – номери телевізійної програми та відеопотоку відповідно. Як результат виконання цього пункту курсової роботи має бути визначено та наведено обрані комбінації профілів/ рівнів для кожного потоку відео.

б) Для кожної телевізійної програми за критерієм заданого рівню суб'єктивної якості визначити швидкість цифрового потоку відео на виході кодера, що працює за обраним в п. 3.2, а) методом стиснення.

Для заданого методу стиснення відеоінформації та обраної комбінації “профіль/ рівень ” згідно з табл. 1...4 визначають максимальну швидкість цифрового потоку. За цієї швидкості цифрового потоку буде забезпечуватись максимальна досяжна суб'єктивна якість зображення. Проте на практиці використовують меншу швидкість цифрового потоку, що також залежить від сюжету телевізійної програми та низки інших факторів.

Визначити орієнтовну швидкість цифрового потоку відео можливо за експериментальними даними, що отримано низкою дослідницьких лабораторій для еталонних відеокодерів. Такі залежності наведено на рис. Б.1...Б.6. Ці залежності є лише окремими прикладами можливих результатів випробувань кодеків, але можуть бути використані в курсовій роботі як орієнтовна оцінка.

Визначення приблизної швидкості цифрового потоку відео для комбінації профілю й рівня, обраної в п. 3.2, а), має здійснюватися за рис. Б.1...Б.6 для заданого рівня якості зображення. Результат має бути позначено як $V_{\text{відео}M,N\text{прибл}}$, де M, N – номери ТВ програми та відеопотоку відповідно. В разі вибору комбінації HP@HL або будь-яких інших комбінацій, що відсутні на рис. Б.1...Б.6, слід прирівнювати швидкості цифрового потоку до швидкостей цифрового потоку наявних комбінацій.

Для випадку стереоскопічного зображення приблизна величина швидкості цифрового потоку визначається аналогічним чином з урахуванням поправочних коефіцієнтів, що представлені в табл. 4 у відсотках.

Як результат виконання цього пункту курсової роботи мають бути визначені значення максимальної та приблизної швидкостей цифрового потоку для кожного відеопотоку.

в) Для заданих параметрів сигналів звукового супроводу (кількість каналів звукового супроводу та ін.) за критерієм суб'єктивної якості визначити швидкість цифрового потоку.

На виході кодера усунення надлишковості аудіосигналу у відповідності зі стандартом MPEG-1 і MPEG-2 AAC (Advanced Audio Coding– поліпшене кодування аудіосигналу) формується цифровий потік зі значеннями швидкості потоку 32, 48, 56, 64, 80, 96, 112, 128, 160, 192, 224, 256, 320 і 384 кбіт/с. З розробленням стандарту MPEG-4 для стиснення аудіоінформації, який отримав назву HE-AAC (High Efficiency AAC– високоефективне поліпшене кодування аудіо-

сигналу), швидкість цифрового потоку на виході кодера була знижена приблизно в 2...3 рази за тієї ж суб'єктивної якості звучання.

На рис. Б.7 наведено результат порівняння методів AAC та обох версій стандарту HE-AAC (aacplus v1 і aacplus v2 – перша й друга версія стандарту стиснення аудіосигналу MPEG-4 AAC), отриманий Stefan Meltzer і Gerald Moser та опублікований у технічному огляді Європейського союзу мовлення в 2006 р. На рис. Б.8 аналогічні залежності приведено для методів стиснення аудіоінформації MPEG-1 Layer II та AC-3. Для варіантів, де визначено використання звукового супроводу в режимі звукового оточення (режим 5.1), має бути використано рис. Б.9...Б.10.

На рис. Б.7...Б.10 суб'єктивна якість звучання наведена в 100-бальній шкалі, при цьому слід вважати, що перетворення в п'ятибальну шкалу має здійснюватись наступним чином:

- п'ять балів (відмінно): 90...100 балів за 100-бальною шкалою;
- чотири бали (добре): 60...89 балів за 100-бальною шкалою;
- три бали (задовільно): 40...59 балів за 100-бальною шкалою;
- два бали (незадовільно): 20...39 балів за 100-бальною шкалою;
- один бал (погано): 0...19 балів за 100-бальною шкалою.

Як вихідні дані для визначення швидкості цифрового потоку для звукового супроводу мають бути дані табл. А.1, а саме – метод стиснення аудіо та необхідний рівень суб'єктивної якості.

Значення швидкості цифрового потоку можуть обиратись лише кратними 8 кбіт/с.

Результат має бути позначено як $V_{\text{аудіо}M,N}$, де M, N – номери ТВ програми та аудіопотоку відповідно.

Як результат виконання цього пункту курсової роботи мають бути наведені швидкості цифрового потоку для кожного аудіопотоку.

г) Визначити швидкість цифрового потоку даних заданого типу (якщо такі використовують).

Потоки даних можуть містити інформацію субтитрів, телетексту, інформацію інтерактивних застосувань, електронного програмного гіда (EPG) або будь-яку іншу додаткову інформацію.

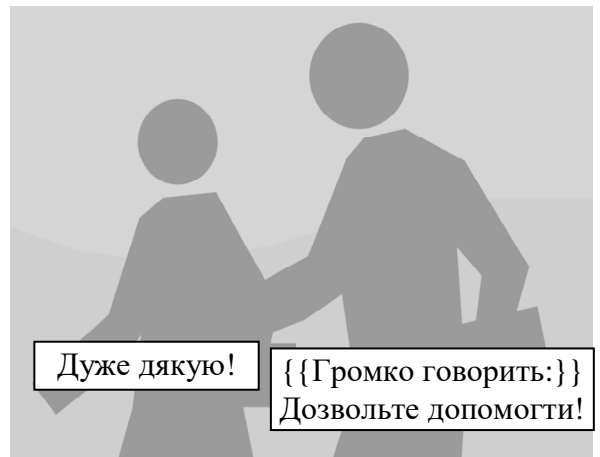
Найбільш розповсюдженими потоками даних у цифровому телебаченні є субтитри. *Субтитри* - це текстовий супровід відео мовою оригіналу або перекладене, дубльоване й іноді доповнюване, наприклад для глядачів, що не-

дочувають або глухих, звукову доріжку фільму або передачі (див. рис. 1, а). У субтитрах відображена передусім мова людей і персонажів у кадрі. Зазвичай субтитри оформляють як текст, написаний шрифтом середнього розміру і розташований в нижній частині екрану при перегляді відео.

Існують також розширені субтитри (англ. *Closed caption, closed subtitles*) – це субтитри, які дозволяють людям з проблемами слуху, що вивчають нову мову, вперше вчатися читати, знаходиться в шумних приміщеннях і іншим читати текст діалогу звукової частини відео або фільму (див. рис. 1, б). У той самий час, як програватиметься відео, показуються титри, на яких відтворені тексти з аудіо сигналу, на яких вказується, хто що сказав, й інші звуки. Приховані титри можуть містити не лише тексти діалогу, але і інформацію про інші звуки, персонажів. Відмінність від звичайних субтитрів полягає в тому, що приховані титри можна активувати або деактивувати. Звичайні титри зазвичай є частиною зображення фільму або програми і не можуть деактивувати.



а)



б)

Рисунок 1 – Приклади реалізації субтитрів (а) та розширених субтитрів (б)

Різновидом субтитрів також є аудіокоментування (англ. *Audio description*). Аудіокоментування - це лаконічний опис предмета/ об'єкта телевізійної сцени або дії без спеціальних словесних пояснень для сліпих чи слабозрячих глядачів. Сигнали аудіокоментування передають одночасно зі звичайним звуковим супроводом та зазвичай вставляють в інтервалах між діалогами персонажів.

У цифровому телебаченні, як і в аналоговому, можливо використовувати телетекст. *Телетекст* - це послуга телевізійної мережі, що передбачає передавання тексту і простих (див. рис. 2, а) або складних (див. рис. 2, б) зображень.

Телетекст, що передається в загальному потоці, призначений для приймання інформації телевізійними приймачами, оснащеними спеціальними декодерами. Зазвичай за допомогою телетексту передаються різні новини, прогноз

погоди, програми телепередач та інша подібна інформація. Також за допомогою телетексту можуть передаватися субтитри.

Ще однією розповсюдженою послугою в цифровому телебаченні є *передавання електронної програми передач або електронного програмного гіда (EPG)*. EPG найбільш часто реалізують як екранне меню, що за допомогою пульта дистанційного керування відображає розклад теле- або радіопрограм з можливістю інтерактивної навігації по контенту EPG за часом, назвою, каналом, жанром. Приклад реалізації електронного програмного гіда представлено на рис. 3.



Рисунок 2 – Телетекст з простими (а) та складними (б) зображеннями

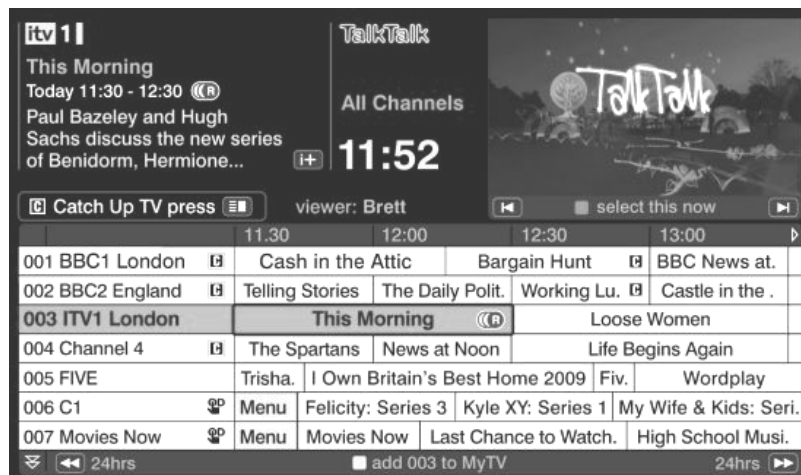


Рисунок 3 – Приклад реалізації електронного програмного гіда

Враховуючи те, що у цифровому телебаченні можливо використовувати різні формати кадру (наприклад, 4:3 або 16:9), важливим є передавання інформації, яка б дозволила визначити найбільш оптимальний формат кадру для перегляду зображення. Реалізують це за допомогою спеціального потоку даних, що називають *даними сигналізації щодо використання широкоформатних зображень (WSS)*. Інформація, яка переноситься цим потоком, дозволяє зменши-

ти незручності під час відображення на телевізійному екрані з форматом кадру, що відрізняється від використаного при формуванні зображення.

В табл. 5 надано орієнтовні значення швидкості цифрового потоку для типів даних, що визначено в індивідуальних варіантах на курсову роботу.

Таблиця 5 – Орієнтовна швидкість цифрового потоку для потоків даних

№ з/п	Тип даних	Орієнтовна швидкість цифрового потоку, кбіт/с
1	Субтитри/ розширені субтитри	$\approx 25-30$
2	Телетекст	$\approx 150-300$
3	Електронний програмний гід (EPG)	$\approx 250-300$
4	Аудіокоментування	192-256 (стерео)
5	Керування доставлянням програми (PDC)	$\approx 25-40$
6	Сигналізація використання широкоформатного зображення (WSS)	$\approx 30-40$
7	Додаткові дані програми	$\approx 150-300$

Результатом виконання цього пункту має бути заповнена табл. 6 з параметрами кожного з програмних елементарних потоків.

Таблиця 6 – Параметри програмних елементарних потоків

M	N	Тип потоку (аудіо, відео чи дані)	Стандарт стиснення	Профіль@рівень	Швидкість цифрового потоку, Мбіт/с
1	1				
	...				
	N				
...	...				
M	1				
	...				
	N				

Для відеопотоків в табл. 6 має бути надано значення приблизної швидкості цифрового потоку ($V_{\text{відео } M, N_{\text{прибл}}}$), в той час як значення максимальної швидкості цифрового потоку ($V_{\text{відео } M, N_{\text{макс}}}$) – в дужках.

3.3 Аналіз характеристик транспортного потоку для розподілу через систему цифрового телевізійного мовлення

Відповідно до індивідуального варіанта (табл. А.1):

а) Навести схему формування транспортного потоку для заданого набору програмних потоків (див. табл. А.1).

б) Визначити кількісні показники (загальну кількість пакетів транспортного потоку, загальний обсяг поля адаптації) та швидкість транспортного потоку, який містить всі елементарні програмні потоки.

а) Навести схему формування транспортного потоку для заданого набору програмних потоків (див. табл. А.1).

Транспортний потік MPEG-2 є основним потоком для більшості систем цифрового телевізійного та мультимедійного мовлення DVB. Транспортний потік MPEG-2 призначено для передавання не тільки сигналів зображення і відповідного звукового супроводу, а й для доставляння як традиційних для систем аналогового мовлення додаткових даних, таких як субтитри, телетекст тощо. На рис. 4 показано процес формування транспортного потоку.

У цифровому телебаченні кодування кожного типу інформації (відео, аудіо, дані) здійснюють окремо. Враховуючи те, що потоки даних не потребують кодування та вже представлені у цифровому форматі, для однієї програми використовують $(M - M_d)$ кодерів усунення надлишковості, де M_d - кількість потоків даних. Кожен з типів інформації утворює цифровий потік, що називають *програмним елементарним потоком* (PES). У подальшому потоки PES об'єднують у *програмний потік* (PS) у програмному мультиплексорі (PSMUX).

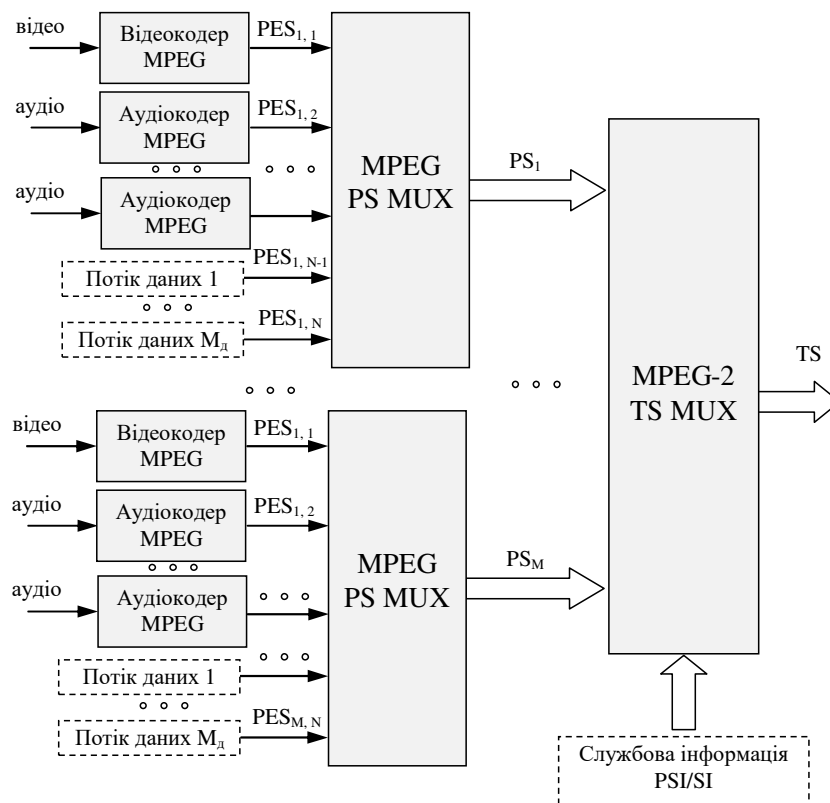


Рисунок 4 – Формування транспортного потоку MPEG-2

Пакетовані програмні потоки, що містять інформацію про відео (V), аудіо (A) або дані (D), надходять на транспортний мультіплексор MPEG-2 (TS MUX), де відбувається їх перетворення у формат багатопрограмного транспортного потоку. Додатково в транспортний потік вводять службову інформацію, стосовну до програм, та службову інформацію, стосовну до процесу мультіплексування і демультіплексування та іншого оброблення в передавачі або приймачі цифрового телебачення. Цю інформацію визначено у стандартах ISO/IEC 13818-1 (MPEG-2Система) і ETSI EN 300 468 (DVB-SI).

Як результат виконання цього пункту курсової роботи має бути побудована схема формування транспортного потоку, що містить всі елементарні програмні потоки. Їх кількісний та якісний склад визначено в табл. А.1. Враховуючи те, що кількість програмних елементарних потоків PES в цій курсовій роботі завжди більше двох, студенту пропонується повністю зобразити тільки для першого та останнього програмного потоку PS з визначенням значень M_d , M та N . Крім того, має бути вказано конкретний стандарт стиснення для відео (MPEG-2 або MPEG-4 AVC) та аудіо, а також тип даних (див. табл. 5).

б) Визначити кількісні показники (загальну кількість пакетів транспортного потоку, загальний обсяг поля адаптації) та швидкість транспортного потоку, який містить всі елементарні програмні потоки.

При введенні даних потоків PES в транспортний потік проводиться розбиття пакетів PES змінної довжини на блоки даних довжиною по 184 байти для подальшого перетворення в корисне навантаження транспортного потоку.

На рис. 5 показана структура транспортного пакету.



Рисунок 5 – Структура транспортного пакета

Транспортний пакет починається із заголовка довжиною 4 байта. Перший байт є байтом синхронізації (SYNC) і має завжди фіксований код 01000111 (число 47 в шістнадцятиричній системі). У трьох інших байтах передається службова інформація (SI), необхідна для демультіплексування програмного потоку з транспортного потоку, зокрема ідентифікатор пакета PID, який безпосередньо вказує на приналежність даного пакета до того або іншого елементар-

ного потоку. Інші 184 байта транспортного потоку є інформаційними байтами, які називають корисним навантаженням пакета.

На рис. 6 наведено процес формування транспортного потоку, що здійснюють за такими правилами:

- кожен пакет транспортного потоку може містити дані тільки одного PES-пакета одного типу інформації (відео, аудіо чи додаткових даних);
- якщо PES-пакет має довжину, не кратну 184 байтам, тоді один із пакетів транспортного потоку (в більшості випадків останній пакет з даними оброблюваного PES-пакета) заповнюється нульовими байтами. Сукупність цих нульових байтів називають полем адаптації.

Пакети транспортного потоку є коротшими за пакети елементарного програмного потоку, тому пакети PES слід ділити на блоки даних по 184 байта. Один пакет PES розподіляється по декількох пакетах транспортного потоку.

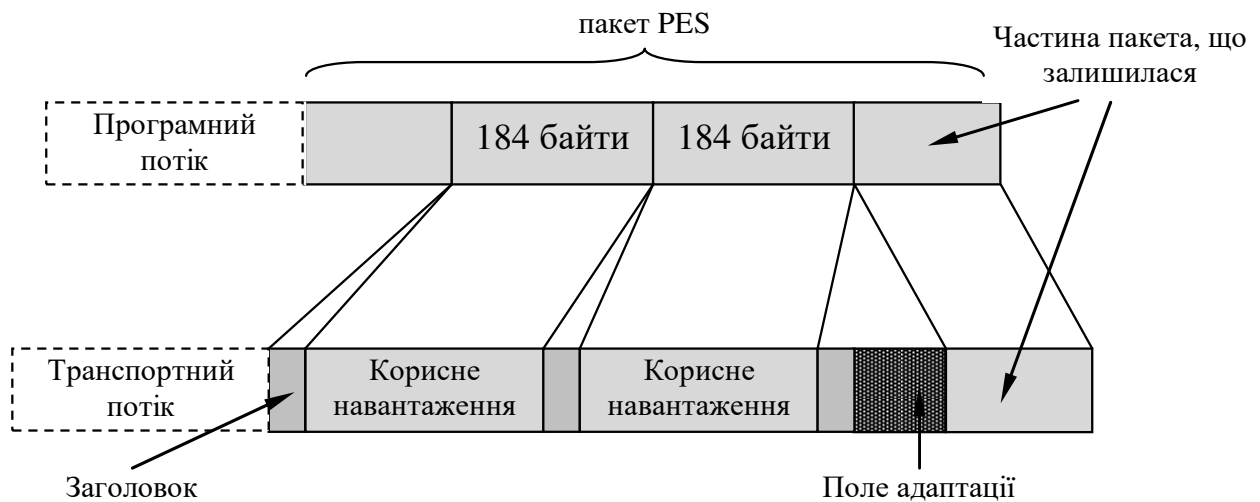


Рисунок 6 – Використання поля адаптації

Загальну кількість пакетів транспортного потоку визначають за правилами формування транспортного потоку. Таким чином, розрахунок має бути проведено для кожного програмного елементарного потоку. Враховуючи складність аналізу щодо визначення кількості та довжини пакетів програмного елементарного потоку, що передають за одну секунду, в цій курсовій роботі прийнято певні припущення.

В разі, якщо кількість програмних потоків більша ніж 8 (це є типовим для варіантів з супутниковим та кабельним середовищами доставляння), тоді має бути вказано діапазон номерів однотипних програмних потоків (наприклад, $N = 1..4$), а під час подальшого розрахунку має бути використано відповідний масштабуючий коефіцієнт (наприклад, для випадку чотирьох однотипних програмних потоків масштабуючий коефіцієнт має дорівнювати 4).

Кількість пакетів відеопотоку PES за одну секунду буде такою:

$$N_{PES \ x \ M, N} = \left\lceil \frac{L_{PES \ x \ M, N}}{L_{PES \ max}} \right\rceil, \quad (1)$$

де $L_{PES \ x \ M, N}$ - довжина інформаційного блока для елементарного потоку типу x (відео, аудіо та дані), що передають за 1 секунду. При інтервалі спостереження 1 секунда фактично відповідає швидкості цифрового потоку відповідного програмного елементарного потоку для відео, тобто $L_{PES \ x \ M, N} = V_{x \ M, N \ прибл}$;

$L_{PES \ max}$ - максимальна довжина пакета PES-потoku (згідно зі стандартом $L_{PES \ max} = 64000$ байт);

$\lceil \cdot \rceil$ - операція округлення до найближчого цілого “вгору”.

Операцію округлення до найближчого цілого будемо використовувати для спрощення розрахунку.

Кількість пакетів транспортного потоку, яка необхідна для передавання потоку типу x на інтервалі довжиною 1 секунда, відповідає такій:

$$N_{TS \ x \ M, N} = \left\lceil \frac{L_{PES \ max}}{L_{TS}} \right\rceil \cdot N_{PES \ x \ M, N}, \quad (2)$$

де L_{TS} - це довжина корисного навантаження пакета транспортного потоку, яка дорівнює 184 байта.

За умови, що довжина PES-пакета є фіксованою та дорівнює 64 кБайт, довжина поля адаптації в пакеті транспортного потоку, що містить частину потоку типу x для одного пакета PES, визначається таким чином:

$$L_{\text{адапт } x \ M, N} = \left\lceil \frac{L_{PES \ max}}{L_{TS}} \right\rceil \cdot L_{TS} - L_{PES \ max} = 32. \quad (3)$$

Загальна кількість байтів поля адаптації, що передають у транспортному потоці у випадку потоку типу x за одну секунду, відповідає такій:

$$L_{\text{ад заг}} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N L_{\text{адапт } x \ i, j}. \quad (4)$$

Розрахунок за формулами (3)-(5) має бути проведений для всіх програмних елементарних потоків.

На цьому етапі розрахунку можливо визначити швидкість цифрового потоку без урахування нуль-пакетів, які можливо буде необхідно ввести для за-

безпечення необхідної швидкості транспортного потоку на вході системи цифрового телевізійного мовлення.

Частина швидкості транспортного потоку, що необхідна для передавання кожного елементарного потоку, відповідає такій:

$$V_{PES} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (N_{TS \times M, N} \cdot 188), \quad (5)$$

де V_{PES} - це швидкість цифрового потоку для передавання всіх елементарних потоків.

Враховуючи вищезазначене, отримаємо, що швидкість транспортного потоку за тривалістю 1 секунда буде відповідати такій:

$$V_{TS} = V_{PES} + V_{PSI/SI}, \quad (6)$$

де V_{TS} – швидкість транспортного потоку;

$V_{PES, i, j}$ – швидкість програмного елементарного потоку з номером i, j ;

$V_{PSI/SI}$ - швидкість цифрового потоку, що необхідно забезпечити для передавання службової інформації PSI/ SI.

Величина $V_{PSI/SI}$ залежить від складу службової інформації та визначається наступним чином:

$$V_{PSI/SI} = V_{PAT} + M \cdot V_{PMT} + V_{NIT} + V_{SDT} + V_{TDT, TOT}, \quad (7)$$

де V_{PAT} - швидкість цифрового потоку, необхідна для передавання таблиці об'єднання програм (PAT);

V_{PMT} - швидкість цифрового потоку, необхідна для передавання таблиці структури програми (PMT);

M – кількість програм в транспортному потоці (відповідає кількості програмних потоків PS);

V_{NIT} - швидкість цифрового потоку, необхідна для передавання таблиці мережної інформації (NIT);

V_{SDT} швидкість цифрового потоку, необхідна для передавання таблиці опису служби (SDT);

$V_{TDT, TOT}$ швидкість цифрового потоку, необхідна для передавання таблиць часу, дати (TDT) та часового зсуву (TOT).

Значення швидкостей цифрового потоку, необхідних для передавання таблиць службової інформації PSI/ SI, може відрізнятись та визначається багатьма факторами. Тому для спрощення в курсовій роботі слід використовувати приблизні значення, надані в табл. 7.

Таблиця 7 – Приблизні швидкості цифрового потоку для різних таблиць службової інформації PSI/ SI

№	Таблиця службової інформації PSI/ SI	Швидкість цифрового потоку, кбіт/с
1	PAT	≈ 15
2	PMT	$\approx 7-8$
3	NIT	$\approx 24-26$
4	SDT	$\approx 3-4$
5	TDT/ TOT	$\approx 2-3$

Як результат виконання цього пункту курсової роботи мають бути наведені кількісні показники транспортного потоку та швидкість транспортного потоку, який містить усі елементарні програмні потоки. Крім того, має бути наведено призначення таблиць службової інформації PAT, PMT, NIT, SDT, TDT та TOT як складових службової інформації транспортного потоку. Для цього можуть бути використані матеріали конспекту лекцій з курсу, ключові положення до відповідної лабораторної роботи або літературу, яку наведено в переліку літератури до цих вказівок.

3.4 Оцінка параметрів системи цифрового телевізійного мовлення заданого типу

Відповідно до індивідуального варіанта (табл. А.1):

а) Навести структурну схему системи цифрового телевізійного мовлення заданого типу та описати принцип обробляння вхідного транспортного потоку.

б) Вибір конфігурації системи цифрового телевізійного мовлення за критерієм вхідної швидкості цифрового потоку.

в) Визначити кількість нуль-пакетів, які необхідно вводити до транспортного потоку для забезпечення необхідної швидкості цифрового потоку на вході системи цифрового телевізійного мовлення.

г) Визначити розподіл ресурсу транспортного потоку для кожного типу елементарного потоку (відео, аудіо, дані) та для додаткової службової інформації.

д) Дати оцінку характеристикам системи цифрового телевізійного мовлення заданого типу.

а) Привести структурну схему системи цифрового телевізійного мовлення заданого типу та описати принцип обробляння транспортного потоку.

Під час виконання цього пункту має бути наведено структурну схему систем цифрового телевізійного мовлення, тип якої визначається індивідуальним

варіантом (див. табл. А.1). При цьому можуть бути використані посилання [1-15]. Після цього має бути надано стислий опис етапів оброблення багатопрограмного транспортного потоку з посиланням на джерела інформації, що використані під час цього опису.

б) Вибір конфігурації системи цифрового телевізійного мовлення за критерієм вхідної швидкості цифрового потоку.

Тип системи цифрового телевізійного мовлення (супутникове, кабельне або наземне мовлення) визначається індивідуальним варіантом до курсової роботи (див. табл. А.1).

Для обраного типу системи цифрового телевізійного мовлення має бути визначено конфігурацію, яка буде забезпечувати можливість передавання транспортного потоку з розрахованими раніш характеристиками. При цьому в якості основного критерію під час вибору оптимальної конфігурації пропонується використовувати критерій, базований на певному компромісі між швидкістю транспортного потоку та величиною мінімального порогового відношення сигнал/шум.

Таким чином, конфігурацію має бути обрано так, щоб:

$$V_{TS} \approx V_{ЦМ}, \quad (8)$$

де V_{TS} - швидкість транспортного потоку на вході системи цифрового мовлення заданого типу (визначено в п. 3.4, б);

$V_{ОІ}$ - швидкість цифрового потоку, що забезпечується за обраної конфігурації системи цифрового мовлення заданого типу.

Якщо $V_{TS} > V_{ЦМ}$ або V_{TS} значно менше ніж $V_{ЦМ}$, тоді має бути обрано іншу конфігурацію, яка буде забезпечувати виконання умови (8)

У тому разі, якщо $V_{TS} < V_{ЦМ}$, тоді до вхідного транспортного потоку вводять нуль-пакети в обсязі, який забезпечить рівність $V_{TS} \approx V_{ЦМ}$.

Якщо конфігурацію системи мовлення вибрано не оптимально, тоді ефективність використання радіочастотного ресурсу знижується (певна частина ресурсу каналу мовлення буде використовуватись для передавання нульових байтів), а збільшення необхідної швидкості цифрового потоку буде призводити до підвищення мінімального відношення сигнал/шум на вході приймача цифрового телебачення. Останнє також буде знижувати енергетичну ефективність каналу мовлення. Таким чином, необхідно мінімізувати кількість додаткових

нуль-пакетів, які вводять для забезпечення необхідної швидкості цифрового потоку на вході системи мовлення.

Кількість нуль-пакетів буде визначено в п. 3.5, в. У цьому пункті має бути обрано конфігурації системи заданого типу.

Додатково пропонується провести розрахунок для першого та другого поколінь систем цифрового телевізійного мовлення та оцінити вигоду при переході від одного покоління до іншого за пороговими відношенням сигнал/шум.

Системи супутникового ТВ мовлення. Для індивідуальних варіантів, де визначено як середовище доставляння програм телевізійного мовлення супутниковий канал мовлення, має розглядатись два стандарти DVB-S та DVB-S2.

У системі DVB-S використовують каскадне включення систематичного блокового коду Ріда-Соломона RS(204, 188, 8) та згорткового коду з можливістю вибору швидкості коду, що відповідає 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 та 7/8. Як метод модуляції використовують ФМ-4 зі спектральною ефективністю 2 біт/Гц (без урахування коректуючого кодування). Під час формування спектра використовують фільтр з АЧХ типу “корінь квадратний з піднесеного косінусу” з коефіцієнтом скруглення спектра $\alpha = 0,35$, але в разі необхідності може бути обрано будь-яке значення в діапазоні від 0 до 0,35 (визначено у стандарті DVB-S). При цьому може бути використано значення ширини смуги частот $BW = 26, 27, 30, 33, 36, 40, 46, 54$ МГц.

Таким чином, швидкість цифрового потоку, забезпечувана у системі цифрового телевізійного мовлення DVB-S, відповідає такій:

$$V_{\text{ЦМ DVB-S}} = k \cdot R_s \cdot CR \cdot C_{RS}, \quad (9)$$

де k - кількість бітів, яку переносить один елементарний сигнал ФМ-4 ($k = 2$);

R_s - символна швидкість;

CR - швидкість згорткового коду;

C_{RS} - швидкість коду Ріда-Соломона ($188/204 = 0,92$).

Символьна швидкість визначається наступним чином:

$$R_s = BW / (1 + \alpha). \quad (10)$$

Характеристики системи DVB-S2 визначено в табл. 8. Як видно з цієї таблиці, система DVB-S2 забезпечує більшу гнучкість у виборі параметрів приймально-передавального тракту та більшу спектральну ефективність за рахунок використання більш швидкісних методів модуляції, більш завадостійких коректуючих кодів та інших технологій.

Таблиця 8 – Параметри системи DVB-S2 для мовленнєвих застосувань

Параметр	Значення
Довжина кадру (L_{FEC})	64 800 біт
Кількість біт на символ (k)	2 (ФМ-4), 3 (ФМ-8)
Кількість поліномів БЧХ ($N_{\text{пол}}$)	16
Швидкість коду LDPC (CR_{LDPC})	ФМ-4: 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10; ФМ-8: 3/5, 2/3, 3/4, 5/6, 8/9, 9/10;
Коефіцієнт скруглення спектра (α)	0,2 , 0,25 , 0,35
Коригувальна здатність (t_{BCH})	8 (при $CR_{\text{LDPC}} = 8/9$ або $9/10$); 10 (при $CR_{\text{LDPC}} = 2/3$ або $5/6$); 12 (при інших швидкостях коду)
Довжина заголовка кадру PL (L_{PL})	90 біт
Довжина заголовка кадру BB (L_{DF})	80 біт
Кількість пілот-сигналів ($N_{\text{п-с}}$)	36 біт

Швидкість цифрового потоку, забезпечувана у системі DVB-S2, визначається наступним чином (позначення введено в табл. 8):

$$V_{\text{ЦМ DVB-S2}} = R_s / \left(L_{\text{FEC}} / k + L_{\text{PL}} + \left\lceil (L_{\text{FEC}} / k / L_{\text{PL}} / N_{\text{пол}} - 1) \right\rceil \cdot N_{\text{п-с}} \right) \cdot \dots \cdot (L_{\text{FEC}} \cdot CR_{\text{LDPC}} - (N_{\text{пол}} \cdot t_{\text{BCH}}) - L_{\text{DF}}). \quad (11)$$

Значення порогових відношень сигнал/шум, за яких системи DVB-S та DVB-S2 працюють в квазібезпомилковому режимі наведено в табл. 9 та 10.

В табл. 10 наведено відношення E_s/N_0 , тому для порівняння систем DVB-S та DVB-S2 необхідно провести перерахунок до E_b/N_0 за формулою:

$$E_b / N_0 = E_s / N_0 - 10 \cdot \log_{10} (\eta), \quad (12)$$

де η - спектральна ефективність.

Таблиця 9 – Значення порогових відношень сигнал/шум у системі DVB-S

Метод модуляції	Швидкість коду	Відношення E_b/N_0 , дБ
ФМ-4	1/2	4,5
	2/3	5
	3/4	5,5
	5/6	6
	7/8	6,4

Таблиця 10 – Порогове відношення сигнал/шум у системі DVB-S2

Метод модуляції	Швидкість коду	Спектральна ефективність	Відношення E_s/N_0 , дБ
ФМ-4	1/4	0,49	-2,35
	1/3	0,65	-1,24
	2/5	0,78	-0,3
	1/2	0,98	1
	3/5	1,18	2,23
	2/3	1,32	3,10
	3/4	1,48	4,03
	4/5	1,58	4,68
	5/6	1,65	5,18
	8/9	1,76	6,20
	9/10	1,78	6,42
ФМ-8	3/5	1,77	5,5
	2/3	1,98	6,62
	3/4	2,22	7,91
	5/6	2,47	9,35
	8/9	2,64	10,69
	9/10	2,67	10,98

Приблизний виграш при переході від DVB-S до DVB-S2 за пороговим відношенням сигнал/ шум (G_{SNR}) має бути визначено таким чином:

$$G_{SNR} = (E_b / N_0)_{DVB-S} - (E_b / N_0)_{DVB-S2}, \text{ дБ} \quad (13)$$

У разі, якщо конфігурацію підібрано не оптимально ($V_{TS} < V_{ЦМ}$) - виграш за відношенням сигнал/шум може бути від'ємним. Додатково має бути оцінено виграш за швидкістю цифрового потоку:

$$G_V = V_{ЦМ DVB-S2} - V_{ЦМ DVB-S}. \quad (14)$$

Системи кабельного ТВ мовлення. Для індивідуальних варіантів, де визначено як середовище доставляння програм телевізійного мовлення кабельний канал мовлення, має розглядатись два стандарти DVB-C та DVB-C2.

У системі цифрового кабельного мовлення DVB-C визначено параметри:

- ширина смуги частот: 2, 4, 8 МГц;
- коефіцієнт скруглення спектра: $\alpha = 0,15$;
- кількість біт на елементарний сигнал (k): 4 (КАМ-16), 5 (КАМ-32), 6 (КАМ-64), 7 (КАМ-128), 8 (КАМ-256);
- метод модуляції: КАМ-16, КАМ-32, КАМ-64, КАМ-128, КАМ-256.

Швидкість цифрового потоку, забезпечувана у системі цифрового телевізійного мовлення DVB-C, відповідає такій:

$$V_{\text{ЦМ DVB-C}} = k \cdot R_s \cdot C_{RS}, \quad (15)$$

де k - кількість бітів, яку переносить один елементарний сигнал;

R_s - символна швидкість;

C_{RS} - швидкість коду Ріда-Соломона ($188/204 = 0,92$).

Символьна швидкість визначається за формулою (10).

Параметри системи цифрового кабельного мовлення другого покоління у стандарті DVB-C2 визначено в табл. 11.

Алгоритм розрахунку швидкості цифрового потоку у системі DVB-C2 є досить складним, тому може бути використана наступна спрощена формула:

$$V_{\text{ЦМ DVB-C2}} = B \cdot (k \cdot (1 - GI) \cdot GI \cdot CR_{LDPC} \cdot CR_{BCH} \cdot SP \cdot CP \cdot P_o), \quad (16)$$

де k - кількість бітів, яку переносить один елементарний сигнал КАМ-М (див. табл. 11);

L_{FEC} - довжина кадру системи DVB-C2;

B - коефіцієнт кратності смуги частот відносно 8 МГц (див. табл. 11);

CR_{LDPC} - швидкість коду LDPC (див. табл. 11);

C_{BCH} - швидкість коду БЧХ (алгоритм розрахунку надано нижче);

GI - захисний інтервал (див. табл. 11);

SP - коефіцієнт втрати ресурсу каналу внаслідок введення рознесених пілот-сигналів (прийємо $SP = 0,98$ для всіх конфігурацій);

CP - коефіцієнт втрати ресурсу каналу внаслідок введення безперервних пілот-сигналів ($CP = 0,99$ для всіх конфігурацій);

P_o - коефіцієнт втрати ресурсу каналу внаслідок введення преамбули (для всіх конфігурацій $P_o = 0,0099$).

Швидкість коду БЧХ визначають наступним чином:

$$C_{BCH} = L_{\text{FEC}} \cdot CR_{LDPC} - (N_{\text{пол}} \cdot t_{BCH}) - L_{\text{DF}}, \quad (17)$$

де $N_{\text{пол}}$ - кількість поліномів БЧХ ($N_{\text{пол}} = 16$);

t_{BCH} - коригувальна здатність коду BCH (див. табл. 11);

L_{DF} - заголовок кадру ВВ (див. табл. 11).

Таблиця 11 – Параметри системи DVB-C2

Параметр	Значення
Довжина кадру (L_{FEC})	64 800 або 16200 біт
Кількість біт на символ (k)	4 (КАМ-16), 6 (КАМ-64), 8 (КАМ-256), 10 (КАМ-1024), 12 (КАМ-4096)
Кількість поліномів БЧХ ($N_{пол}$)	16
Швидкість коду LDPC (CR_{LDPC})	КАМ-16: 4/5, 9/10; КАМ-64: 2/3, 4/5, 9/10; КАМ-256: 3/4, 5/6, 9/10; КАМ-1024: 3/4, 5/6, 9/10; КАМ-4096: 5/6, 9/10.
Коригувальна здатність (t_{BCH})	8 (при $CR_{LDPC} = 9/10$); 10 (при $CR_{LDPC} = 2/3$ або $5/6$); 12 (при $CR_{LDPC} = 3/4$ або $4/5$)
Довжина заголовка кадру ВВ (L_{DF})	80 біт
Коефіцієнт кратності смуги частот B , МГц	1 (для 8 МГц), 2 (для 16 МГц), 3 (для 24 МГц), 4 (для 32 МГц), 8 (64)
Захисний інтервал (GI)	1/64, 1/128

Значення порогових відношень сигнал/шум, за яких системи DVB-C та DVB-C2 працюють в квазібезпомилковому режимі наведено в табл. 12 та 13.

Таблиця 12 – Значення порогових відношень сигнал/шум у системі DVB-C

Метод модуляції	Відношення E_b/N_0 , дБ
КАМ-16	11,4
КАМ-32	13,57
КАМ-64	15,29
КАМ-128	17,83
КАМ-256	20,1

Таблиця 13 – Порогове відношення сигнал/шум у системі DVB-C2

Метод модуляції	Швидкість коду	Відношення C/N_0 , дБ	
		$L_{FEC} = 16200$	$L_{FEC} = 64800$
КАМ-16	4/5	10,8	10,7
	9/10	12,6	12,8
КАМ-64	2/3	13,6	13,4
	4/5	16,1	16,0
	9/10	18,30	18,4
КАМ-256	3/4	20,1	19,9
	5/6	22,1	21,9
	9/10	23,8	23,9

Закінчення табл. 13

Метод модуляції	Швидкість коду	Відношення C/N_0 , дБ	
		$L_{\text{FEC}} = 16200$	$L_{\text{FEC}} = 64800$
КАМ-1024	3/4	24,9	24,6
	5/6	27,3	27,1
	9/10	29,3	29,4
КАМ-4096	5/6	32,4	32,2
	9/10	34,8	34,9

Для перерахунку значень E_b/N_0 до C/N_0 відношення для системи DVB-C використовують наступну формулу:

$$C/N_0 = E_b/N_0 - 10 \cdot \log_{10}(188/204) + 10 \cdot \log_{10}(k), \quad (18)$$

де k - кількість біт на елементарний сигнал КАМ-М.

Приблизний виграш при переході від DVB-C до DVB-C2 за пороговим відношенням сигнал/шум (G_{SNR}) визначається таким чином:

$$G_{\text{SNR}} = \left| (C/N_0)_{\text{DVB-C}} - (C/N_0)_{\text{DVB-C2}} \right|, \text{ дБ}. \quad (19)$$

У разі, якщо конфігурацію підібрано не оптимально ($V_{\text{TS}} < V_{\text{ЦМ}}$) - виграш за відношенням сигнал/шум може бути від'ємним. Додатково має бути оцінено виграш за швидкістю цифрового потоку:

$$G_V = V_{\text{ЦМ DVB-C2}} - V_{\text{ЦМ DVB-C}}, \quad (20)$$

Системи наземного ТВ мовлення. Для індивідуальних варіантів, де визначено як середовище доставляння програм телевізійного мовлення наземний канал мовлення, має розглядатись два стандарти DVB-T та DVB-T2.

Стандарт на систему DVB-T передбачає можливість вибору параметрів, які визначені в табл. 14.

Швидкість цифрового потоку, яку забезпечує система DVB-T, визначається наступним чином:

$$V_{\text{ЦМ DVB-T}} = \frac{C_{\text{RS}} \cdot CR \cdot k \cdot N_a}{T_U}, \quad (21)$$

де C_{RS} - швидкість коду Ріда-Соломона ($188/204 = 0,92$).

Порівняно з системою DVB-T, стандарт DVB-T2 забезпечує більшу ефективність як в термінах швидкості цифрового потоку, так і за величиною мінімального відношення сигнал/шум на вході приймача. При цьому система DVB-T2 має значну гнучкість у виборі параметрів передавання, що дозволяє досягти необхідного компромісу між цілою низкою параметрів, які характери-

зують ефективність системи. Проте при цьому складність оброблення в тракті системи значним чином підвищується. Тому для розрахунку швидкості цифрового потоку у системі DVB-T2 буде використано спрощений алгоритм.

Таблиця 14 – Параметри системи DVB-T

Параметр	Значення
Кількість активних носійних коливань сигналу OFDM, N_a	1512 (режим 2K), 6048 (режим 8K)
Загальна тривалість символу OFDM, T_U	224 мкс (режим 2K), 896 мкс (режим 8K)
Кількість біт на символ (k)	2 (ФМ-4), 4 (КАМ-16), 6 (КАМ-64)
Швидкість згорткового коду (CR)	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8

Швидкість цифрового потоку, забезпечувана у системі DVB-T2, значним чином залежить від параметрів каналного рівня (складу системного кадру, обраного режиму передавання тощо).

Алгоритм розрахунку швидкості цифрового потоку, забезпечуваної у системі DVB-T2, відповідає такому:

- 1) Обчислюють максимальну кількість блоків FEC у кадрі системи T2

$$N_{B_max} = \left\lfloor \frac{(N_{P2} \times C_{P2} + (L_F - N_{P2} - 1) \times C_{data} + C_{FC} - D_{L1})}{(L_{FEC} / k)} \right\rfloor, \quad (22)$$

де N_{P2} - кількість символів P2 в кадрі системи DVB-T2 (табл. 15);

k - кількість бітів, яку переносить один елементарний сигнал КАМ-М ($k = \log_2 M$). У системі DVB-T2 можливі варіанти: 2 (ФМ-4), 4 (КАМ-16), 6 (КАМ-64), 8 (КАМ-256);

L_{FEC} - довжина кадру системи DVB-T2 ($L_{FEC} = 64800$ біт);

C_{P2} - кількість носійних даних у символі P2 (табл. 15);

L_F - довжина кадру L_F у кількості символів OFDM (табл. 16);

C_{data} - кількість носійних коливань даних у звичайному символі (табл. 17 та 18);

C_{FC} - кількість носійних коливань даних в символі кінця кадру системи (табл. 19);

D_{L1} - кількість комірок OFDM в кожному кадрі, що містять інформацію сигналізації L1 (див. примітку та табл. 15).

Примітка. Кількість комірок OFDM у кожному кадрі, що містять інформацію сигналізації L1, залежить від обсягу службової інформації. Для спрощення розрахунку величину D_{L1} має бути визначено згідно з табл. 15.

2) Обчислюємо швидкість цифрового потоку у системі DVB-T2

$$V_{\text{ЦМ DVB-T2}} = \frac{1}{(L_F \cdot T_s + T_{P1})} \left(N_{B_max} \times (L_{FEC} \cdot CR_{LDPC} - (N_{пол} \cdot t_{BCH}) - L_{DF}) \right), \quad (23)$$

де T_{P1} - тривалість символу P1 (для значення ширини смуги 8 МГц відповідає $T_{P1} = 2048T$ (для визначення T див. табл. 20));

T – тривалість системного елементарного інтервалу (табл. 20)

T_s – тривалість символу OFDM системи DVB-T2 (табл. 21);

L_{FEC} - довжина кадру системи DVB-T2 ($L_{FEC} = 64800$ біт);

CR_{LDPC} - швидкість коду LDPC (табл. 22);

$N_{пол}$ - кількість поліномів BCH ($N_{пол} = 16$);

t_{BCH} - коригувальна здатність коду BCH (табл. 22);

L_{DF} - заголовок кадру ВВ ($L_{DF} = 80$ біт).

Таблиця 15 – До визначення N_{P2} , C_{P2} та D_{L1}

Режим OFDM	N_{P2}	C_{P2}	D_{L1}
1K	16	546	1934
2K	8	1098	2028
4K	4	2198	2215
8K	2	4398	2590
16K	1	8814	2590
32K	1	17612	2590

Позначення “-” вказує на те, що цю комбінацію у системі DVB-T2 не використовують.

Визначення C_{data} має здійснюватись для певної послідовності введення пілот-сигналів (PP), дозволені комбінації якої з тривалістю захисного інтервалу та обсягом швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) наведені в табл. 17.

Таблиця 16 – До визначення L_F

Режим OFDM	Захисний інтервал						
	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
32K	68	66	64	64	60	60	-
16K	138	135	131	129	123	121	111
8K	276	270	262	259	247	242	223

Закінчення табл. 16

Режим OFDM	Захисний інтервал						
	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
4K	-	540	524	-	495	-	446
2K	-	1081	1049	-	991	-	892
1K	-	-	2098	-	1982	-	1784

Таблиця 17 - Комбінації обсягу ШПФ та захисного інтервалу для визначення дозволеної послідовності PP для системи DVB-T2

Розмір ШПФ	Захисний інтервал						
	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
32K	PP 7	PP 4 PP 6	PP 2 PP 8 PP 4	PP 2 PP 8 PP 4	PP 2 PP 8	PP 2 PP 8	-
16K	PP 7	PP 7 PP 4 PP 6	PP 2 PP 8 PP 4 PP 5	PP 2 PP 8 PP 4 PP 5	PP 2 PP 3 PP 8	PP 2 PP 3 PP 8	PP 1 PP 8
8K	PP 7	PP 7 PP 4	PP 8 PP 4 PP 5	PP 8 PP 4 PP 5	PP 2 PP 3 PP 8	PP 2 PP 3 PP 8	PP 1 PP 8
4K, 2K	-	PP 7 PP 4	PP 4 PP 5	-	PP 2 PP 3	-	PP 1
1K	-	-	PP 4 PP 5	-	PP 2 PP 3	-	PP 1

Таблиця 18 – До визначення C_{data}

Режим OFDM	Послідовність введення пілот-сигналів (PP)							
	PP 1	PP 2	PP 3	PP 4	PP 5	PP 6	PP 7	PP 8
1K	764	768	798	804	818	-	-	-
2K	1522	1532	1596	1602	1632	-	1646	-
4K	3084	3092	3228	3234	3298	-	3328	-
8K	6208	6214	6494	6498	6634	-	6698	6698
розширений 8K	6296	6298	6584	6588	6728	-	6788	6788
16K	12418	12436	12988	13002	13272	13288	13416	13406
розширений 16K	12678	12698	13262	13276	13552	13568	13698	13688
32K	-	24886	-	26022	-	26592	26836	26812
розширений 32K	-	25412	-	26572	-	27152	27404	27376

Таблиця 19 – До визначення C_{FC}

Режим OFDM	Послідовність введення пілот-сигналів (PP)							
	PP 1	PP 2	PP 3	PP 4	PP 5	PP 6	PP 7	PP 8
1K	402	654	490	707	544			
2K	804	1309	980	1415	1088		1396	
4K	1609	2619	1961	2831	2177		2792	
8K	3218	5238	3922	5662	4354		5585	
розширений 8k	3264	5312	3978	5742	4416		5664	
16K	6437	10476	7845	11324	8709	11801	11170	
розширений 16k	6573	10697	8011	11563	8893	12051	11406	
32K		20952		22649		23603		
розширений 32k		21395		23127		24102		

Порожні комірки табл. 19 вказують на те, що символ кінця кадру не вводять до кадру системи DVB-T2.

Таблиця 20 – До визначення елементарного інтервалу T

Параметр	Значення	
Ширина смуги частот, МГц	7	8
Елементарний інтервал T , мкс	0,125	0,1094

Таблиця 21 – До визначення T_s для ширини смуги частот 8 МГц

Режим OFDM	Захисний інтервал						
	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
1K	-	-	1088T	-	1152T	-	1280T
2K	-	2112T	2176T	-	2304T	-	2560T
4K	-	4224T	4352T	-	4608T	-	5120T
8K	8256T	8448T	8704T	8800T	9216T	9408T	10240T
16K	16512T	16896T	17408T	17600T	18432T	18816T	20480T
32K	33024T	33792T	34816T	35200T	36864T	37632T	-

Примітка. Величину T має бути визначено згідно з табл. 19.

Таблиця 22 – Параметри коригуючого кодування системи DVB-T2

Параметр	Значення
Кількість поліномів БЧХ ($N_{\text{пол}}$)	16
Швидкість коду LDPC (CR_{LDPC})	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6
Коригувальна здатність (t_{BCH})	10 (при $CR_{\text{LDPC}} = 2/3$ або $5/6$), 12 (в інших випадках)

Значення порогових відношень сигнал/шум, за яких системи DVB-T та DVB-T2 працюють в квазібезпомилковому режимі, наведено в табл. 23 та 24.

Таблиця 23 - Порогові відношення C/N для системи DVB-T

Параметр	Модуляція	Швидкість коду				
		1/2	2/3	3/4	5/6	7/8
C/N, дБ	ФМ-4	3,1	4,9	5,9	6,9	7,7
	КАМ-16	8,8	11,1	12,5	13,5	13,9
	КАМ-64	14,4	16,5	18,0	19,3	20,1

Приблизний виграш при переході від DVB-T до DVB-T2 за пороговим відношенням сигнал/ шум (G_{SNR}) має бути визначено таким чином:

$$G_{SNR} = \left| (C/N)_{DVB-T} - (C/N)_{DVB-T2} \right|, \text{ дБ.} \quad (24)$$

Таблиця 24 - Порогові відношення C/N для системи DVB-T2

Параметри	Величина відношення C/N, дБ					
Конфігурація	ФМ-4 1/2	ФМ-4 3/5	ФМ-4 2/3	ФМ-4 3/4	ФМ-4 4/5	ФМ-4 5/6
C/N, дБ	1,0	2,3	3,1	4,1	4,7	5,2
Конфігурація	КАМ-16 1/2	КАМ-16 3/5	КАМ-16 2/3	КАМ-16 3/4	КАМ-16 4/5	КАМ-16 5/6
C/N, дБ	6,0	7,6	8,9	10,0	10,8	11,4
Конфігурація	КАМ-64 1/2	КАМ-64 3/5	КАМ-64 2/3	КАМ-64 3/4	КАМ-64 4/5	КАМ-64 5/6
C/N, дБ	9,9	12,0	13,5	15,1	16,1	16,8
Конфігурація	КАМ-256 1/2	КАМ-256 3/5	КАМ-256 2/3	КАМ-256 3/4	КАМ-256 4/5	КАМ-256 5/6
C/N, дБ	13,2	16,1	17,8	20,0	21,3	22,0

В разі, якщо конфігурацію підібрано не оптимально ($V_{TS} < V_{\text{öi}}$) - виграш за відношенням сигнал/шум може бути від'ємним. Додатково має бути оцінено виграш за швидкістю цифрового потоку:

$$G_V = V_{\text{ЦМ DVB-T2}} - V_{\text{ЦМ DVB-T}}, \quad (25)$$

Системи мультимедійного мовлення. Для індивідуальних варіантів, де необхідно провести розрахунок для системи мультимедійного мовлення, мають розглядатись два стандарти – стандарти DVB-H та DVB-T2 Lite.

Враховуючи те, що система DVB-H використовує фізичний рівень системи DVB-T з додатковим коригуючим кодуванням, швидкість цифрового потоку для випадку системи DVB-H буде визначатись наступним чином:

$$V_{\text{ЦМ DVB-H}} = C_{\text{DVB-H}} \cdot \frac{C_{RS} \cdot CR \cdot k \cdot N_a}{T_U}, \quad (26)$$

де C_{RS} - швидкість коду Ріда-Соломона ($188/204 = 0,92$);

C_{DVB-H} - швидкість коду MPE-FEC у системі DVB-H (можливі варіанти 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8 або 1/1 (код MPE-FEC не використовують)).

k - кількість бітів на елементарний сигнал ФМ-4 або КАМ-16 у системі DVB-H (дорівнює відповідно 2 або 4);

CR - швидкість згорткового коду системи DVB-T, що є складовою тракту системи DVB- T/H (може дорівнювати 1/2, 2/3 або 3/4).

Параметри сигналу OFDM у системі DVB-H визначено в табл. 25.

Таблиця 25 - Основні параметри сигналу OFDM системи DVB-H

Параметр	Режим OFDM		
	8K	4K	2K
Кількість активних носійних коливань	6817	3409	1705
Тривалість корисного інтервалу T_u , мкс	896	448	224
Тривалість захисного інтервалу T_g , мкс	224, 112, 56, 28	112, 56, 28, 14	56, 28, 14, 7
Інтервал між носійними, Гц	1116	2232	4464
Інтервал між носійними, МГц	7,61		

Система DVB-T2 Lite аналогічно використовує фізичний рівень системи DVB-T2 з введенням додаткових обмежень, що їх наведено в табл. 26...28. Алгоритм розрахунку швидкості цифрового потоку, забезпечуваної у системі DVB-T2 Lite, відповідає такому:

1) Обчислюють максимальну кількість блоків FEC у кадрі системи T2

$$N_{B_max} = \left\lfloor \frac{(N_{P2} \times C_{P2} + (L_F - N_{P2} - 1) \times C_{data} + C_{FC} - D_{L1})}{(L_{FEC} / k)} \right\rfloor, \quad (27)$$

де N_{P2} - кількість символів P2 у кадрі системи DVB-T2 Lite (табл. 15);

k - кількість бітів, яку переносить один елементарний сигнал КАМ-М ($k = \log_2 M$, також див. табл. 26);

L_{FEC} - довжина кадру системи DVB-T2 Lite ($L_{FEC} = 16200$ біт);

C_{P2} - кількість носійних даних у символі P2 (табл. 15);

L_F - довжина кадру L_F у кількості символів OFDM (табл. 16);

C_{data} - кількість носійних коливань даних у звичайному символі (для визначення див. табл. 28 та табл. 18);

C_{FC} - кількість носійних коливань даних у символі кінця кадру системи (табл. 19 та табл. 28);

D_{LI} - кількість комірок OFDM у кожному кадрі, що містять інформацію сигналізації $L1$ (див. табл. 15).

Таблиця 26 – Параметри коригуючого кодування системи DVB-T2 Lite

Параметр	Значення
Довжина кадру (L_{FEC})	16200 біт
Кількість поліномів BCH ($N_{пол}$)	16
Швидкість коду LDPC ($CR_{LDPC FEC}$)	1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4
Коригувальна здатність (t_{BCH})	12

Таблиця 27 – Дозволені комбінації методу модуляції, швидкості коду

Швидкість коду LDPC	Метод модуляції			
	ФМ-4	КАМ-16	КАМ-64	КАМ-256
1/3	+	+	+	+
2/5	+	+	+	+
1/2	+	+	+	+
3/5	+	+	+	+
2/3	+	+	+	-
3/4	+	+	+	-

Таблиця 28 - Комбінації обсягу ШПФ та захисного інтервалу для визначення дозволеної послідовності PP для системи DVB-T2 Lite

Розмір ШПФ	Захисний інтервал						
	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
16K	PP7	PP7 PP6	PP4 PP5	PP2 PP4 PP5	PP2 PP3	PP2 PP3	PP1
8K	PP7	PP7 PP4	PP4 PP5	PP4 PP5	PP2 PP3	PP2 PP3	PP1
4K, 2K	-	PP7 PP4	PP4 PP5	-	PP2 PP3	-	PP1

Кількість комірок OFDM в кожному кадрі, що містять інформацію сигналізації $L1$, залежить від обсягу службової інформації. Для спрощення розрахунку величину D_{LI} визначають згідно з табл. 15.

2) Обчислюємо швидкість цифрового потоку у системі DVB-T2 Lite

$$V_{ЦМ T2 Lite} = \frac{1}{(L_F \cdot T_s + T_{P1})} \left(N_{B_max} \times (L_{FEC} \cdot CR_{LDPC} - (N_{пол} \cdot t_{BCH}) - L_{DF} \right), \quad (28)$$

де T_{PI} - тривалість символу PI (для значення ширини смуги 8 МГц відповідає $T_{PI} = 2048T$ (для визначення T див. табл. 20));

T – тривалість системного елементарного інтервалу (табл. 20);

T_s – тривалість символу OFDM системи DVB-T2 Lite (табл. 21);

L_{FEC} - довжина кадру системи DVB-T2 Lite ($L_{FEC} = 16200$ біт);

$CR_{LDPC\ FEC}$ - швидкість коду LDPC (табл. 22);

$N_{\text{пол}}$ - кількість поліномів BCH ($N_{\text{ііє}} = 16$);

t_{BCH} - коригувальна здатність коду BCH (табл. 22);

L_{DF} - заголовок кадру ВВ ($L_{DF} = 80$ біт).

Всі інші параметри аналогічні параметрам, що використовують у системі DVB-T2.

Значення порогових відношень сигнал/шум, за яких системи DVB-H та DVB-T2 Lite працюють в квазібезпомилковому режимі наведено в табл. 29 та 30.

Таблиця 29 - Порогові відношення C/N для системи DVB-H

Параметр	Швидкість коду DVB-T (CR)	Швидкість коду MPE-FEC (C_{DVB-H})				
		1/2	2/3	3/4	5/6	7/8
C/N , дБ	ФМ-4					
	1/2	0,2	0,38	0,58	0,68	0,78
	2/3	1,9	2,1	2,12	2,14	2,16
	3/4	2,9	3	3,1	3,12	3,14
	КАМ-16					
	1/2	6	6,3	6,5	6,7	6,75
	2/3	8,01	8,1	8,3	8,5	8,7
	3/4	9	9,2	9,43	9,52	9,7

Приблизний виграш при переході від DVB-T до DVB-T2 за пороговим відношенням сигнал/ шум (G_{SNR}) визначають таким чином:

$$G_{SNR} = \left| (C/N)_{DVB-T\ Lite} - (C/N)_{DVB-H} \right|, \text{ дБ.} \quad (29)$$

Таблиця 30 - Порогові відношення C/N для системи DVB-T2 Lite

Параметри	Величина відношення C/N , дБ					
Конфігурація	ФМ-4 1/3	ФМ-4 2/5	ФМ-4 1/2	ФМ-4 3/5	ФМ-4 2/3	ФМ-4 3/4
C/N , дБ	-1,2	-0,3	1,0	2,2	3,1	4,1
Конфігурація	КАМ-16 1/3	КАМ-16 2/5	КАМ-16 1/2	КАМ-16 3/5	КАМ-16 2/3	КАМ-16 3/4
C/N , дБ	3,9	4,9	6,2	7,6	8,9	10,0
Конфігурація	КАМ-64 1/3	КАМ-64 2/5	КАМ-64 1/2	КАМ-64 3/5	КАМ-64 2/3	КАМ-64 3/4
C/N , дБ	8,82	9,3	10,5	12,3	13,6	15,1
Конфігурація	КАМ-256 1/3	КАМ-256 2/5	КАМ-256 1/2	КАМ-256 3/5		
C/N , дБ	10,96	12,79	14,4	16,7		

В разі, якщо конфігурацію підібрано не оптимально ($V_{TS} < V_{ЦМ}$) - виграш за відношенням сигнал/шум може бути від'ємним. Додатково має бути оцінено виграш за швидкістю цифрового потоку:

$$G_V = V_{ЦМ DVB-T2 Lite} - V_{ЦМ DVB-H}, \quad (30)$$

в) *Визначити кількість нуль-пакетів, які необхідно вводити до транспортного потоку для забезпечення необхідної швидкості цифрового потоку на вході системи цифрового телевізійного мовлення.*

Кількість нуль-пакетів будемо визначати за умови, що загальна швидкість цифрового потоку на вході транспортного мультиплексора є постійною та не змінюється в часі.

Транспортний потік оптимізований під передавання через мовленнєве середовище, оскільки забезпечує постійну швидкість цифрового потоку (CBR, constant bit-rate) на виході транспортного мультиплексора. Враховуючи, що потоки на вході транспортного мультиплексора можуть мати змінну в часі, швидкість цифрового потоку (VBR, variable bit-rate), для переходу до постійної швидкості забезпечується шляхом введення нуль-пакетів (рис. 7).

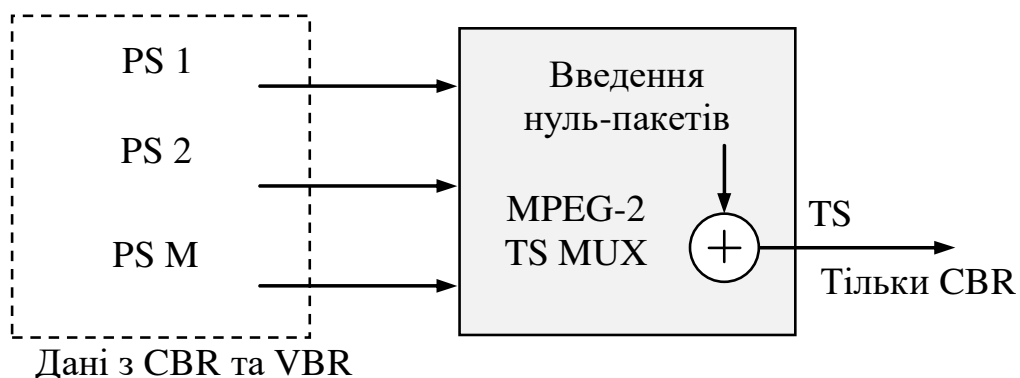


Рисунок 7 – Адаптація швидкості потоку PS до мовленнєвого середовища

Кількість нуль-пакетів будемо визначати наступним чином для системи DVB-X:

$$N_{\text{н-п DVB-X}} = \left\lceil \frac{V_{\text{ЦМ DVB-X}} - V_{\text{ТС}}}{188} \right\rceil, \quad (31)$$

у випадку системи цифрового мовлення другого покоління DVB-X2

$$N_{\text{н-п DVB-X2}} = \left\lceil \frac{V_{\text{ЦМ DVB-X2}} - V_{\text{ТС}}}{188} \right\rceil. \quad (32)$$

У формулах (31)...(33) введені позначення DVB-X та DVB-X2, де X - тип системи мовлення (C - система кабельного мовлення, T - система наземного мовлення, S - система супутникового мовлення).

Таким чином, після введення нуль-пакетів отримуємо

$$V_{\text{ТС н-п DVB-X}} \approx V_{\text{ЦМ DVB-X}} \text{ та } V_{\text{ТС н-п DVB-X2}} \approx V_{\text{ЦМ DVB-X2}}, \quad (33)$$

де $V_{\text{ТС н-п DVB-X}}$ - швидкість транспортного потоку з введенними нуль-пакетами в системі DVB-X;

$V_{\text{ТС н-п DVB-X2}}$ - швидкість транспортного потоку з введенними нуль-пакетами у системі DVB-X2.

г) *Визначити розподіл ресурсу транспортного потоку для кожного типу елементарного потоку (аудіо, відео, дані) та для додаткової службової інформації.*

Для визначення розподілу ресурсу транспортного потоку може бути використано табл. 6. Розрахунок розподілу ресурсу транспортного потоку для кабельного, супутникового та ефірного середовищ доставляння є однотипним. Проте, враховуючи, що у супутниковому та кабельному середовищах цифрового мовлення можливо доставляти більшу кількість програм, для виконання цього пункту будуть використані модифіковані алгоритми.

Під час побудови діаграми розподілу ресурсу транспортного потоку розрахунок відсоткової частки кожного з типів елементарних потоків - аудіо, відео та даних - має проводитись у сукупності. Враховуючи це, швидкість для елементарних потоків відео має визначатись таким чином:

$$V_{\text{PES відео}} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{\text{PES } i, j \text{ відео}}, \quad (34)$$

де $V_{\text{PES відео}}$ - загальна швидкість цифрового потоку для всіх однотипних елементарних відеопотоків;

$V_{PES\ i,j\ \text{відео}}$ - швидкість цифрового потоку для всіх елементарних відеопотоків з номерами (i, j) (див. табл. 6).

Відповідно, для аудіопотоків має бути використано формулу:

$$V_{PES\ \text{аудіо}} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{PES\ i,j\ \text{аудіо}}, \quad (35)$$

де $V_{PES\ \text{аудіо}}$ - загальна швидкість цифрового потоку для всіх однотипних елементарних аудіопотоків;

$V_{PES\ i,j\ \text{аудіо}}$ - швидкість цифрового потоку для всіх елементарних аудіопотоків з номерами (i, j) (див. табл. 6).

Аналогічним чином для елементарних потоків даних:

$$V_{PES\ \text{дані}} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{PES\ i,j\ \text{дані}}, \quad (36)$$

де $V_{PES\ \text{дані}}$ - загальна швидкість цифрового потоку для всіх однотипних елементарних потоків даних;

$V_{PES\ i,j\ \text{дані}}$ - швидкість цифрового потоку для всіх елементарного потоку даних з номерами (i, j) (див. табл. 6).

Крім того, має бути враховано, що в транспортних потоках вводиться службова інформація різного призначення, яку називають *системним заголовком*. Загальна швидкість цифрового потоку для інформації цього типу має визначатись для систем обох поколінь (DVB-X та DVB-X2) наступним чином:

$$V_{\text{сист заг DVB-X}} = V_{PSI/SI} + \left(\frac{V_{TS\ \text{н-п DVB-X}}}{188 \cdot 8} \right) \cdot L_{\text{заг пак TS}} + N_{\text{н-п DVB-X}} \cdot 1472 + L_{\text{ад заг}} \cdot 8 \quad (37)$$

та для систем DVB-X2

$$V_{\text{сист заг DVB-X2}} = V_{PSI/SI} + \left(\frac{V_{TS\ \text{н-п DVB-X2}}}{188 \cdot 8} \right) \cdot L_{\text{заг пак TS}} + N_{\text{н-п DVB-X2}} \cdot 1472 + L_{\text{ад заг}} \cdot 8, \quad (38)$$

де $V_{\text{сист заг DVB-X}}$ - загальна швидкість цифрового потоку для системного заголовка для системи DVB-X;

$V_{\text{сист заг DVB-X2}}$ - загальна швидкість цифрового потоку для системного заголовка для системи DVB-X2;

$L_{\text{заг пак TS}}$ - довжина заголовка пакету транспортного потоку ($L_{\text{заг пак TS}} = 32$ бітів).

У загальному випадку відсоткова частка елементарного потоку кожного типу визначається за наступним виразом:

$$P_{x \text{ DVB-X}} = \left(\frac{V_{PES_x}}{V_{TS \text{ н-п DVB-X}}} \right) \cdot 100 \% , \quad (39)$$

та для систем DVB-X2

$$P_{x \text{ DVB-X2}} = \left(\frac{V_{PES_x}}{V_{TS \text{ н-п DVB-X2}}} \right) \cdot 100 \% , \quad (40)$$

де $P_{x \text{ DVB-X}}$ та $P_{x \text{ DVB-X2}}$ - відсоткова частка елементарного потоку кожного типу для систем DVB-X та DVB-X2;

V_{PES_x} - швидкість цифрового потоку типу x (аудіо, відео чи дані)

Відсоткова частка для системного заголовка визначається так:

$$P_{\text{сист заг DVB-X}} = \left(\frac{V_{\text{сист заг DVB-X}}}{V_{TS \text{ н-п DVB-X}}} \right) \cdot 100 \% , \quad (41)$$

та для систем DVB-X2

$$P_{\text{сист заг DVB-X2}} = \left(\frac{V_{\text{сист заг DVB-X2}}}{V_{TS \text{ н-п DVB-X2}}} \right) \cdot 100 \% . \quad (42)$$

Як результат розрахунку має бути заповнена табл. 31 та побудована стовпцева або кругова діаграма з визначенням відсоткової частки елементарного потоку кожного типу та системного заголовка в загальному ресурсі. Приклад таких діаграм показаний на рис. 8.

Таблиця 31 - Розподіл ресурсу транспортного потоку для систем DVB-X та DVB-X2

№	Елемент транспортного потоку MPEG-2 TS	Відсоткова частка в транспортному потоці MPEG-2 TS	
		DVB-X	DVB-X2
1	Відео		
2	Аудіо		
3	Додаткові дані		
4	Системний заголовок		

Додатково, має бути порівняна ефективність систем DVB-X та DVB-X2 за обсягом системного заголовка та визначена найефективніша система за цим показником.

д) Дати оцінку характеристикам системи цифрового телевізійного мовлення заданого типу.

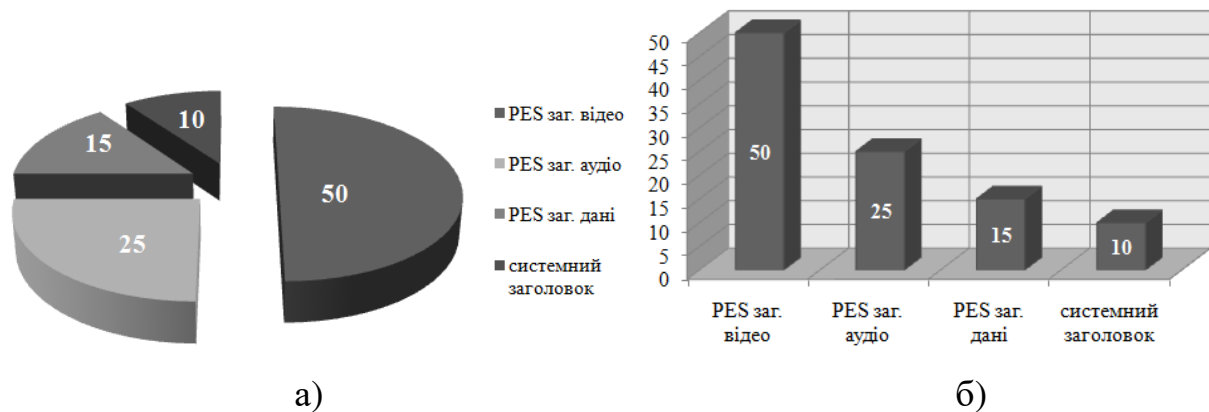


Рисунок 8 - Приклад побудови діаграм розподілу ресурсу у вигляді:

а) кругової діаграми; б) стовпцева діаграми

Під час виконання цього пункту можуть бути використані математичні моделі відповідної системи цифрового мовлення першого та другого покоління. При цьому мають бути вирішені такі завдання:

- отримано та побудовано залежність коефіцієнта BER до та після внутрішнього канального декодера;
- визначено необхідне мінімальне відношення сигнал/ шум у каналі з АБГШ;
- побудовано сигнальне сузір'я та спектр на виході передавача та вході приймача за порогового відношення сигнал/ шум.

3.5 Оцінка параметрів системи цифрового звукового мовлення DRM

Відповідно до індивідуального варіанта (табл. А.2):

а) Навести структурну схему передавальної частини системи цифрового звукового мовлення у стандарті DRM та описати етапи формування сигналу, що передається.

б) Визначити можливі конфігурації системи цифрового звукового DRM мовлення для заданого типу програмного матеріалу та умов поширення радіосигналу.

в) Розрахувати радіус зони покриття передавальної станції DRM мовлення за умови використання кожної з обраних конфігурацій системи.

г) Дати рекомендації щодо вибору оптимальної конфігурації системи цифрового звукового DRM мовлення.

а) *Навести структурну схему передавальної частини системи цифрового звукового мовлення у стандарті DRM та описати етапи формування сигналу, що передається.*

Під час виконання цього пункту має бути наведено структурну схему системи цифрового звукового мовлення DRM. При цьому можуть бути використані посилання [15...18]. Також має бути приведено стислий опис етапів формування сигналу DRM мовлення на передавальній стороні з посиланням на джерела інформації, що використані під час цього опису.

б) *Визначити можливі конфігурації системи цифрового звукового мовлення DRM для заданого типу програмного матеріалу та умов поширення радіосигналу.*

Для визначення конфігурації даної системи необхідно визначити наступні параметри:

- смуга частот, необхідна для передавання сигналу;
- режим завадостійкості (A, B, C, D);
- тип модуляції підносійних символу OFDM та швидкість завадостійкого згорткового коду, що застосовується при передаванні даних основного службового каналу MSC;
- тип модуляції підносійних символу OFDM та швидкість завадостійкого згорткового коду, що застосовується при передаванні даних каналу опису обслуговування SDC.

Рекомендації щодо вибору конфігурації системи DRM залежать, передусім, від типу послуг, що надаються, і вимог, які застосовують щодо їх якості. Рішення щодо можливих конфігурацій системи DRM слід приймати на основі розгляду методів кодування джерела, які можуть бути застосовані для заданого типу аудіоматеріалу.

При передаванні певного аудіоматеріалу кодери джерела дозволяють гнучке регулювання параметрів, що визначають швидкість цифрового потоку, залежно від бажаної якості звучання. Тому, вибрані параметри аудіокодеків у свою чергу суттєво впливатимуть на необхідні значення параметрів передавання, насамперед, на необхідне значення ширини смуги частот каналу.

Виконання цього пункту завдання доречно розбити на кілька послідовних етапів:

1. В першу чергу необхідно визначити тип аудіокодеків, які можуть бути використані у системі DRM при передаванні заданого типу програмного матеріалу. Як відомо, у системі DRM передбачена можливість використання декількох типів кодеків в залежності від того, чи є програма суто інформаційною (передавання мови) або художньо-інформаційною (передавання мови і музики в

моно- або стереофонічній якості). Застосовувані у системі DRM типи кодеків і значення забезпечуваної при їх використанні швидкості цифрового потоку аудіоданих наведені в табл. 32.

Таблиця 32 – Типи аудіокодеків в системі DRM

Тип аудіосигналу	Швидкість цифрового потоку, що забезпечується аудіокодером			
	MPEG-4 AAC	MPEG-4 HE-AAC	MPEG-4 HE-AACv2	MPEG-4 xHE-AAC
Мова	8 – 32 кбіт/с	8 – 16 кбіт/с	від 12 кбіт/с	від 6 кбіт/с
Музика (моно)	16 – 64 кбіт/с	16 – 32 кбіт/с	–	від 6 кбіт/с
Музика (стерео)	64 – 256 кбіт/с	32 – 128 кбіт/с	16 – 128 кбіт/с	16 – 96 кбіт/с

Як бачимо з табл. 32, для кодування звуку у стандарті DRM передбачено декілька варіантів конфігурації кодера джерела. Так, для кодування, наприклад, музичних стереосигналів можна використовувати метод удосконаленого звукового кодування MPEG-4 AAC або розширені версії цього алгоритму: високоефективне кодування HE-AAC (поєднання методів AAC та SBR – копіювання спектральних смуг) чи HE-AAC v2 (версія, доповнена методом параметричного стереокодування PS). Рис. Б.7, наведений у Додатку Б, надає інформацію про суб'єктивні оцінки якості відтворюваного звукового матеріалу, при передаванні якого використовувалися алгоритми MPEG-4 AAC, HE-AAC v1 та HE-AAC v2.

Також для забезпечення компромісу між якістю звуку та кількістю доступних програм в системі DRM було адаптовано сучасні MPEG кодеки xHE-AAC (Extended High Efficiency Advanced Audio Coding), які працюють починаючи зі швидкостей передавання даних 6 кбіт/с та забезпечуючи високу якість звучання музичної та мовної програми [15].

При виконанні завдання визначаємо за допомогою табл. 32 для заданого типу аудіосигналу два варіанти кодеків, які можуть бути застосовані при його кодуванні, і відповідні значення швидкості цифрового потоку при бажаній якості звуковідтворення.

2. На другому етапі виконання завдання необхідно визначити режим завадостійкості в залежності від заданих умов поширення радіохвиль. Це пояснюється тим, що вибір параметрів передавання сигналу DRM повинен здійснюватись на основі забезпечуваного кодером джерела швидкості цифрового потоку й одночасно потребує урахування можливих умов поширення радіосигналів. У системі DRM, що використовується у діапазонах до 30 МГц, визначені чотири режими завадостійкості. Відповідні рекомендації щодо їх вибору надані в

рамках стандарту DRM та представлені в табл. 33. Для кожного з режимів визначені параметри OFDM символу [15...18], що у підсумку обумовлює обсяг корисних даних, який можна передати у системі.

Таблиця 33 – Режими завадостійкості в системі DRM

Рівень завадостійкості	<i>Типові умови поширення</i>	Рекомендовані діапазони
<i>A</i>	Незначні завмирання і невеликі значення часу затримки ехо-сигналів τ	НЧ, СЧ
<i>B</i>	Часові та частотні селективні завмирання за великого значення τ	СЧ, ВЧ
<i>C</i>	Те саме, що і режим B, але за більшого прояву доплерівського зсуву	Тільки ВЧ
<i>D</i>	Те саме, що і режим B, але зі значно більшими значеннями τ і доплерівським зсувом	Тільки ВЧ

3. На третьому етапі виконання завдання визначити тип модуляції підносійних OFDM символу і необхідну швидкість завадостійкого коду в основному службовому каналі MSC можна на основі довідкових даних, що містяться в тексті стандарту DRM. За результатами моделювання та випробувальних передавань для кожного з режимів завадостійкості були отримані дані відносно кількості біт, необхідних для формування кадру мультиплексованого цифрового потоку тривалістю 400 мс.

Нагадаємо, що багатопрограмний груповий потік, що формується в каналі MSC, одержав назву мультиплексованого потоку [16] і може містити від однієї до чотирьох програм мовлення, кожна з яких є або звуковою програмою, або даними. Загальна швидкість такого потоку залежить від ширини смуги частот, яку займає DRM сигнал, і від режиму завадостійкості. Мультиплексований потік містить від одного до чотирьох цифрових потоків, що надходять від джерел програм радіомовлення. Кожний цифровий потік, у свою чергу, поділено на логічні кадри, що мають тривалість 400 мс [15...18]. Із логічних кадрів всіх цифрових потоків формуються кадри мультиплексованого потоку, тривалість кожного з яких дорівнює 400 мс. Ці кадри після оброблення у блоках рандомізації надходять на вхід каналного кодера MSC. Таблиці 34 – 38 (Додаток J стандарту DRM) показують, скільки біт корисної інформації може бути передано в одному кадрі мультиплексованого потоку.

Таблиця 34 – Кількість вхідних біт L для формування кадру мультимплексованого потоку в каналі MSC (рівний захист від помилок EEP, стандартне перетворення SM, режим завадостійкості А)

Характеристики	Ширина смуги каналу, кГц					
	4,5	5	9	10	18	20
КАМ-64, $R = 0,5$	3 757	4 248	7 878	8 857	16 374	18 336
КАМ-64, $R = 0,6$	4 509	5 096	9 450	10 628	19 646	21 998
КАМ-64, $R = 0,71$	5 322	6 018	11 157	12 547	23 193	25 976
КАМ-64, $R = 0,78$	5 898	6 664	12 364	13 908	25 704	28 788
КАМ-16, $R = 0,5$	2 505	2 832	5 250	5 904	10 914	12 222
КАМ-16, $R = 0,62$	3 131	3 540	6 565	7 381	13 645	15 280

Таблиця 35 – Кількість вхідних біт L для формування кадру мультимплексованого потоку в каналі MSC (EEP, стандартне перетворення SM, режим завадостійкості В)

Характеристики	Ширина смуги каналу, кГц					
	4,5	5	9	10	18	20
КАМ-64, $R = 0,5$	2 880	3 312	6 133	6 991	12 727	14 304
КАМ-64, $R = 0,6$	3 456	3 972	7 361	8 390	15 272	17 162
КАМ-64, $R = 0,71$	4 080	4 692	8 688	9 900	18 026	20 264
КАМ-64, $R = 0,78$	4 520	5 196	9 630	10 980	19 980	22 456
КАМ-16, $R = 0,5$	1 920	2 208	4 089	4 662	8 484	9 534
КАМ-16, $R = 0,62$	2 400	2 760	5 111	5 826	10 606	11 920

В рамках даної роботи припускається, що при передаванні цифрового потоку в каналі MSC використовується метод рівного захисту від помилок (EEP – Equal Error Protection), за якого використовується завадостійкий код з однаковою надлишковістю для захисту всієї інформації від помилок в каналі.

Таблиця 36 – Кількість вхідних біт L для формування кадру мультимплексованого потоку в каналі MSC (EER, стандартне перетворення SM, режим завадостійкості C)

Характеристики	Ширина смуги каналу, кГц					
	4,5	5	9	10	18	20
КАМ-64, $R = 0,5$	Не використовуються			5 514	–	11 581
КАМ-64, $R = 0,6$				6 615	–	13 898
КАМ-64, $R = 0,71$				7 808	–	16 406
КАМ-64, $R = 0,78$				8 654	–	18 188
КАМ-16, $R = 0,5$				3 675	–	7 722
КАМ-16, $R = 0,62$				4 595	–	9 651

Таблиця 37 – Кількість вхідних біт L для формування кадру мультимплексованого потоку в каналі MSC (EER, стандартне перетворення SM, режим завадостійкості D)

Характеристики	Ширина смуги каналу, кГц					
	4,5	5	9	10	18	20
КАМ-64, $R = 0,5$	Не використовуються			3 660	–	7 800
КАМ-64, $R = 0,6$				4 391	–	9 359
КАМ-64, $R = 0,71$				5 185	–	11 050
КАМ-64, $R = 0,78$				5 746	–	12 242
КАМ-16, $R = 0,5$				2 439	–	5 199
КАМ-16, $R = 0,62$				3 050	–	6 500

Для цифрового аудіопотоку, швидкість якого визначена вище, розрахуємо кількість біт, які можуть бути передані в кадрі протягом 400 мс:

$$L = V_{\text{кд}} \times T_f, \quad (43)$$

де $V_{\text{кд}}$ – швидкість цифрового потоку на виході кодера джерела;

T_f – тривалість кадру мультимплексованого цифрового потоку в каналі MSC.

Одержане значення порівнюємо з табличними даними для визначеного режиму завадостійкості. Для отриманого значення L знаходимо найближче найбільше табличне значення L_1 , за яким можна зробити висновок про те, які значення ширини смуги радіоканалу, а також поєднання типу модуляції і швидкості

ті завадостійкого коду R є підходящими для заданого типу програми й умов передавання сигналу.

Якщо для мовлення використовується діапазон НЧ або СЧ, слід враховувати, що смуга частот радіоканалу може займати 9 кГц, або складати половину цього значення - 4,5 кГц, або подвійне значення номіналу смуги 18 кГц (значення 5 кГц, 10 кГц і 20 кГц потрібно розглядати при передаванні в ВЧ-діапазоні).

Що стосується характеристик передавання даних каналів службової інформації SDC та FAC, то в даному випадку можна виходити з наступних положень стандарту DRM.

Вибір типу модуляції, що використовується для передавання даних каналу SDC, повинен здійснюватись з урахуванням раніше визначених характеристик передавання каналу MSC: для даних SDC повинна забезпечуватись більша завадостійкість (тобто при використанні в каналі MSC модуляції КАМ-64 для даних SDC варто використовувати КАМ-16, і відповідно КАМ-4, якщо КАМ-16 використовувалася в MSC). Як для випадку використання КАМ-16 в каналі SDC, так і для використання КАМ-4 застосовується швидкість згорткового коду $R = 0,5$ [16].

Дані каналу FAC завжди передаються з використанням модуляції КАМ-4 і швидкості коду $R = 0,6$ [16].

У практиці цифрового DRM радіомовлення прийнято використовувану конфігурацію системи позначати наступним чином: зайнятість спектра (ширина смуги радіоканалу) / режим завадостійкості (А, В, С або D) / тип модуляції в каналі MSC / тип модуляції в каналі SDC / швидкість завадостійкого згорткового коду в каналі MSC / характеристики переміщення бітів: L – довге переміщення або S – коротке (у даній роботі не визначаються). Наприклад, при використанні радіоканалів у СЧ діапазоні за умови поширення земною хвилею конфігурація DRM передачі може бути вибрана наступною: 9 кГц/А/КАМ-64/КАМ-16/0,6/С.

в) *Розрахувати радіус зони покриття передавальної станції DRM мовлення за умови використання кожної з обраних конфігурацій системи.*

Одним з найважливіших показників роботи системи DRM є **зона покриття**, що забезпечується радіомовною станцією (РМС). **Зона покриття РМС** являє собою частину земної поверхні, в межах якої напруженість поля, що створюється передавачем, дозволяє забезпечити бажану якість приймання за умови відсутності завад від інших РМС.

У кожній точці зони покриття повинна виконуватися умова:

$$E_{\text{кор}} \geq E_{\text{мін}}, \quad (44)$$

де $E_{\text{кор}}$ – напруженість поля корисної РМС, що розглядається;

$E_{\text{мін}}$ – мінімальна використовувна напруженість поля.

Мінімальна використовувна напруженість поля $E_{\text{мін}}$ – мінімальне значення напруженості поля передавача РМС, яке необхідне для забезпечення бажаної якості приймання в певних умовах приймання за наявності завад природного та індустріального походження, але за відсутності взаємних завад між РМС.

Зазначені умови прийому включають у себе використовуваний діапазон частот, характеристики приймального обладнання й умови експлуатації приймача.

Розрахунок зони покриття виконується за умови, що в місці розташування корисної станції присутні тільки завади природного та індустріального походження та відсутні завади від інших РМС.

Нерівність (44) перетворюється на рівність на межі зони покриття і підкреслює, що напруженість поля РМС не повинна бути нижче встановленої норми мінімально використовувної напруженості поля.

Чисельні значення мінімальної використовувної напруженості поля обов'язково нормуються, в табл. 38 наведені дані для визначення необхідного значення $E_{\text{мін}}$ за методикою, наведеною в Рекомендації МСЕ-Р BS.1615 [16].

Таблиця 38 – Визначення необхідного значення $E_{\text{мін}}$ для планування мережі DRM мовлення

Показник, що визначає значення $E_{\text{мін}}$		Значення показника	
1. Коефіцієнт помилок бітів (BER), що дозволяє забезпечити необхідну якість приймання		не більше 10^{-4}	
2. Необхідне значення сигнал/шум (с/ш) для забезпечення вказаної якості		x , дБ (табл. 38...40)	
3. Власний шум приймача, дБ (мкВ/м)	НЧ	30,5	
	СЧ	24,5	
	ВЧ	4,5	
4. Значення $E_{\text{мін}}$ на вході приймача для наведених вище значень с/ш, дБ (мкВ/м)	НЧ	$30,5 + x$	на x дБ вище за власний шум приймача
	СЧ	$24,5 + x$	
	ВЧ	$4,5 + x$	

Для визначення відношення сигнал/шум, відповідного певному поєднанню типу модуляції і швидкості завадостійкого коду, слід користуватися даними табл. 39 – 42 [17, 18].

Для досягнення високої якості передавання цифрових сигналів аудіо програм у системі DRM необхідно, щоб імовірність помилки на біт (BER) не перевищувала 10^{-4} . У таблицях наведені значення відношення сигнал/шум, необхідні для одержання такого значення BER за різних умов поширення радіосигналів.

Таблиця 39 – Відношення сигнал/шум, яке забезпечує $BER = 10^{-4}$ для стандартної модуляції у системі DRM для режимів завадостійкості А та В у діапазонах НЧ та СЧ (поширення земної хвилі, денний час)

Модуляція	Відносна швидкість згорткового коду	Необхідне відношення с/ш, дБ для $BER = 10^{-4}$			
		А/9 кГц	В/10 кГц	А/4,5 кГц	В/5 кГц
16-КАМ	0,5	8,6	9,3	8,8	9,5
	0,62	10,7	11,3	10,9	11,5
64-КАМ	0,5	14,1	14,7	14,3	14,9
	0,6	15,3	15,9	15,8	16,2
	0,71	17,1	17,7	17,5	17,9
	0,78	18,7	19,3	19,2	19,5

Таблиця 40 – Відношення сигнал/шум, яке забезпечує $BER = 10^{-4}$ для стандартної модуляції у системі DRM для режимів завадостійкості А та В в діапазоні СЧ (поширення земної хвилі та просторової хвилі, яка надходить у місце приймання з затримкою)

Модуляція	Відносна швидкість згорткового коду	Необхідне відношення с/ш, дБ для $BER = 10^{-4}$			
		А/9 кГц	В/10 кГц	А/4,5 кГц	В/5 кГц
16-КАМ	0,5	9,8	9,4	10,3	10,2
	0,62	12,7	12,5	13,2	13,1
64-КАМ	0,5	15,2	14,9	15,8	15,6
	0,6	16,6	16,3	17,3	16,9
	0,71	19,7	19,2	20,4	19,7
	0,78	22,9	22,8	22,8	22,3

При використанні ширини смуги каналу, що відповідає подвійному значенню номінальної ширини в діапазонах НЧ, СЧ або ВЧ, тобто 18 або 20 кГц, значення відношення сигнал/шум буде змінено відносно значень, наведених

вище. У табл. 42 наведено довідкові дані щодо необхідних значень відношень сигнал/шум, які були отримані за результатами випробувань роботи передавачів системи DRM і якими можна користуватись при $\Delta F_k = 18$ або 20 кГц.

Таблиця 41 – Відношення сигнал/шум, яке забезпечує $BER = 10^{-4}$ для стандартної модуляції у системі DRM для режимів завадостійкості В, С та D в діапазоні ВЧ (наявність значних часових та/або частотних завмирань)

Модуляція	Відносна швидкість згорткового коду	Необхідне відношення с/ш, дБ для $BER = 10^{-4}$			
		В/5 кГц	В/10 кГц	С/10 кГц	Д/10 кГц
16-КАМ	0,5	18,3	18,0	18,0	18,5
	0,62	21,1	20,8	20,9	21,5
64-КАМ	0,5	23,8	23,3	23,6	24,2
	0,6	25,9	25,4	25,6	26,3
	0,71	29,0 ^(*)	28,3 ^(*)	29,0 ^(*)	29,2 ^(*)
	0,78	31,2 ^(*)	30,9 ^(*)	32,3 ^(*)	32,1 ^(*)
Примітка. ^(*) Поєднання типу модуляції і відносної швидкості коду, які не рекомендуються для використання в умовах поширення на ВЧ зі значними часовими та/або частотними селективними завмираннями.					

Таблиця 42 – Необхідні значення відношення сигнал/шум при використанні ширини смуги каналу 18 або 20 кГц

Режим завадостійкості	Необхідне відношення с/ш, дБ для $BER = 10^{-4}$		
	Діапазон НЧ	Діапазон СЧ	Діапазон ВЧ
Режим А (поширення земною хвилею)	19 – 21		–
Режим В (поширення земної хвилі та просторової хвилі, яка надходить у місце приймання з затримкою)	–	13 – 22,8	18 – 30,9
Режим С (поширення земної хвилі та просторової хвилі, яка надходить у місце приймання з затримкою)	–	–	18 – 33,3
Режим D (поширення просторовими хвилями, які надходять у місце приймання з затримкою)	–	–	18,5 – 35,0

Для визначення напруженості поля в інженерній практиці широко застосовуються графіки кривих поширення МСЕ-Р (рис. 9). Вони являють собою залежність напруженості поля земної хвилі від відстані і побудовані для різних частот f , питомих провідностей σ і відносних діелектричних проникностей ϵ земної поверхні.

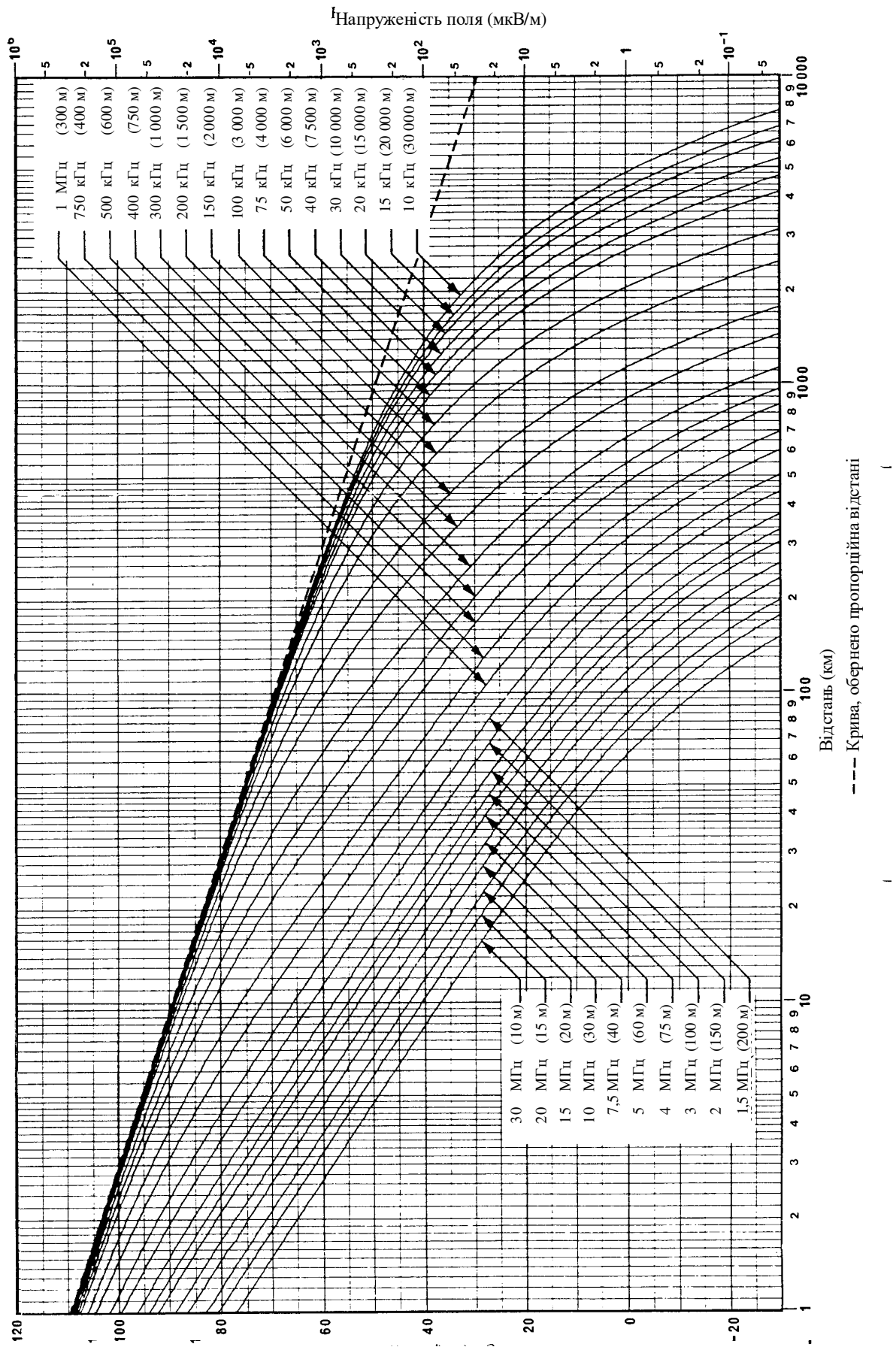


Рисунок 9 – Криві поширення земної хвилі; середньосухий ґрунт, $\sigma = 10^{-3}$ См/м, $\epsilon = 15$

Значення напруженості поля, показані на графіках, відповідають ефективній випромінюваній потужності, що дорівнює 1 кВт (ефективна випромінювана потужність дорівнює добутку потужності, що підводиться до антени, на коефіцієнт підсилення антени). Якщо ефективна випромінювана потужність передавача P_e відрізняється від 1 кВт, то напруженість поля, отримана з графіка, слід помножити на коефіцієнт, що чисельно дорівнює $\sqrt{P_e}$.

Таким чином, напруженість поля $E_{\text{кор}}$ при заданому значенні P_e пов'язана з напруженістю поля $E_{\text{кор1}}$ при $P_e = 1$ кВт залежністю:

$$E_{\text{кор}} = E_{\text{кор1}} \sqrt{P_e}, \quad (45)$$

$$\text{або в децибелах } E_{\text{кор}} = E_{\text{кор1}} + P_e.$$

З урахуванням наведених виразів отримуємо рівняння для знаходження за кривими МСЕ-Р радіуса зони обслуговування передавача r .

$$E_{\text{кор1}}(r) = E_{\text{кор}} - P_e = E_{\text{мін}} - P_e. \quad (46)$$

Значення $E_{\text{мін}}$ та P_e вважаються відомими, а r , відповідне отриманій $E_{\text{кор1}}$, знаходиться за кривими для заданих f , ϵ , σ . У цьому випадку зона покриття має форму кола.

г) *Надати рекомендації щодо вибору оптимальної конфігурації системи цифрового звукового DRM мовлення.*

Запропоновані конфігурації системи DRM за різних варіантів кодування джерела (за умови однакової суб'єктивної оцінки якості звучання) мають бути порівняні за такими показниками, як необхідна ширина смуги частот радіоканалу, радіус зони покриття та можлива кількість програм мовлення та обсягу додаткових послуг, які передаються у складі мультимедійного потоку. На основі зіставлення значень цих показників слід зробити висновок щодо оптимальної конфігурації системи для передавання певного типу програмного матеріалу в заданих умовах.

Результати порівняння необхідно представити у вигляді таблиці (табл. 43).

Варто звернути увагу, що у системі DRM, окрім власне самих програм мовлення, передбачено можливість передавання різних додаткових послуг даних. Вони можуть охоплювати як просту послугу передавання текстових повідомлень з низькою швидкістю передачі даних, так і мультимедійно орієнтовані послуги разом з аудіоданими, щоб використовувати весь потенціал каналу MSC. Прості текстові програми можуть бути використані для передачі послуг даних, таких як новини, або спорт, інформація про погоду, тощо поряд із основною звуковою програмою.

Таблиця 43 – Порівняння запропонованих конфігурацій системи DRM

Показники роботи	Варіанти конфігурації	
	Варіант 1	Варіант 2
Ширина смуги каналу ΔF_k , кГц		
Відношення сигнал/шум, дБ		
Радіус зони покриття, км		
Суб'єктивна оцінка якості звучання (бали за 100-бальною шкалою)		
Можливість передавання додаткових програм або послуг		

Більш складні мультимедійні види послуг можуть містити як текст, так і зображення, хоча для усіх режимів DRM30 відносно низька швидкість передачі буде обмежувати кількість даних та частоту оновлення. На практиці для цих режимів, найімовірніше, що така служба займатиме від 2 до 4 кбайт/с ємності MSC, оскільки більша частина логічного каналу MSC, як і раніше буде використовуватися для звукової програми.

Отже, для передавання додаткових до звукової програми послуг даних знадобиться певна частина ресурсу основного каналу користувача MSC:

Текстові повідомлення 100 біт/с

Інформаційна послуга Jounaline 200 біт/с

Інформація щодо програм та інших інформаційних послуг до 2 кбіт/с

Слайд-шоу 4 кбіт/с

Щоб визначити можливу додаткову послугу, слід розрахувати, яку частину пропускнуї здатності MSC каналу можна задіяти для передавання такої послуги (іншими словами, перерахувати $(L_1 - L)$ біт за 400 мс на кількість бітів у секунду):

$$V_d = (L_I - L) / T_f \quad (47)$$

За отриманим значенням V_d можна зробити висновок щодо можливості передавання додаткових послуг даних та їх типів, про що має бути зазначено у табл. 43.

4 ВИСНОВКИ

Висновки мають містити інформацію щодо останніх досягнень в технологіях та коротку інформацію щодо стану впровадження систем цифрового телевізійного, звукового або мультимедійного мовлення заданого типу. Також необхідно навести короткі відомості щодо обраних характеристик систем заданого типу з порівнянням їх ефективності в термінах якості зображення та звукового супроводу, швидкості цифрового потоку, завадостійкості або інших параметрів.

5 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Під час виконання курсової роботи може бути використана будь-яка технічна література у напрямі систем цифрового телевізійного, звукового та мультимедійного мовлення. Рекомендований перелік літератури надано нижче:

1. Баляр В.Б., Кольцова О.С. Конспект лекцій з дисципліни “Цифрове телевізійне, звукове та мультимедійне мовлення ” [проект].
2. Настанови щодо системи цифрового радіомовлення DRM. DRM Broadcaster’s Guide. Published and produced by the DRM Consortium. Editor: Albert Waal, John Sykes. – 97 pp.
3. Цифровое звуковое радиовещание: учеб. пособ. / Выходец А.В., Ганжа С.Н., Лапин В.А.; под общ. ред. Н.К. Михайлова. – Одесса: Феникс, 2006. – 272 с.
4. Аналоговое и цифровое радиовещание / [А.В. Выходец, С.Н. Ганжа, А.С. Кузнецова, А.А. Выходец]; под. ред. А.В. Выходца. – Одесса: ВМВ, 2011. – 312 с.
5. В. Шаламов, "Цифрове телебачення та радіомовлення," Видавництво "Університетська книга", 2015.
6. L. Altyntsev, V. Zhdanov, I. Kotenko, "Digital TV Broadcasting: Signal Processing and Transmission," Springer, 2014.
7. Kiseliov, A. Samoilenko, "Modern Technologies of Digital TV Broadcasting," KhAI Publishing House, 2014.

8. E. Kharlanov, "Multimedia Communications and Broadcasting," Springer, 2011.
9. G. Fettweis, H. Meyr, "Digital Audio Broadcasting: Principles, Applications, and Services," John Wiley & Sons, 2011.
10. Y. Owechko, "Introduction to Digital Audio Coding and Standards," Springer, 2010.
11. V. Stanković, I. Kopriva, "Digital Audio and Video Broadcasting Technology," Springer, 2010.
12. V. V. Terzija, "Digital Television Systems," IET, 2010.
13. В. Сидоренко, "Цифрове телебачення: технічні засади," Київський національний університет будівництва та архітектури, 2016.
14. Л. Желєзняк, "Основи цифрового телебачення," Київський політехнічний інститут, 2014.

ДОДАТОК А

ІНДИВІДУАЛЬНІ ВАРІАНТИ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Варіант визначається номером студента в навчальному журналі групи.

Позначення “і” після роздільної здатності вказує на використання черезрядкової розгортки, “р”- прогресивної розгортки.

Таблиця А.1 – Індивідуальні варіанти курсової роботи

№ з/п	Номер PS	Тип програмних потоків	Параметри	Метод стиснення відео/ аудіо	Суб'єктивна оцінка за п'ятибальною шкалою	Стандарт мовлення
1	1-14	відео/ аудіо/ субтитри	720×576i/ стерео	MPEG-4 AVC/ AAC	відео: 4-5 балів аудіо: 4 бали	DVB-C/ DVB-C2
	15	відео/ аудіо/ телетекст/ EPG	1280×720p/ 5.1	MPEG-2/ DTS	відео: 4 бали аудіо: 4 бали	
	16-18	відео/ аудіо/ PDC	720×576i/ стерео	MPEG-2/ HE-AAC v2	відео: 4-5 балів аудіо: 3 бали	
2	1-4	відео/ аудіо/ EPG телетекст/ WSS	720×576p/ 5.1	MPEG-2/ AAC	відео: 4-4,5 балів аудіо: 4 бали	DVB-T/ DVB-T2
	5-6	відео/ аудіо/ додаткові дані	720×576i/ стерео			
	7-8	відео/ аудіо/ субтитри/ PDC	720×576i/ стерео			
3	1-5	відео/ аудіо/ телетекст/ WSS	720×576i/ 5.1	MPEG-4 AVC/ DTS	відео: 4-4,5 бали аудіо: 4 бали	DVB-S/ DVB-S2
	6-10	відео/ аудіо/WSS	720×576i/ стерео	MPEG-4 AVC/ HE-AAC v1	відео: 4 бали аудіо: 4 бали	
	11-17	відео/ аудіо/аудіо	720×576i/ стерео		відео: 4-5 балів аудіо: 4 бали	
4	1-7	відео/ аудіо	352×288/ стерео	MPEG-4 AVC/ AAC	відео: 4-4,5 балів аудіо: 4 бали	DVB-H/ DVB-T2 Lite
	8	відео/ аудіо/ телетекст/ EPG	176×144/ стерео	MPEG-2/ HE-AAC v1	відео: 3 бали аудіо: 3 бали	
	9-14	додаткові дані	-	-	-	
5	1-10	відео/ аудіо/ PDC	720×576i/ стерео	MPEG-4 AVC/ AAC	відео: 5 балів аудіо: 4 бали	DVB-C/ DVB-C2
	11-14	відео/ аудіо/ аудіо			відео: 4 бали аудіо: 4 бали	
	15	відео/ аудіо				
6	1-2	відео/ аудіо/ PDC	720×576i/ стерео	MPEG-2/ HE-AAC v1	відео: 4-4,5 балів аудіо: 4 бали	DVB-T/ DVB-T2
	3-5	відео/ аудіо	720×576i/ стерео	MPEG-4 AVC/ HE-AAC v1	відео: 4 бали аудіо: 4 бали	
	6-8	відео/ аудіо/ телетекст/ субтитри	720×576i/ стерео			

Продовження таблиці А.1

№ з/п	Номер PS	Тип програмних потоків	Параметри	Метод стиснення відео/ аудіо	Суб'єктивна оцінка за п'ятибальною шкалою	Стандарт мовлення
7	1	відео/ аудіо/ телетекст/ WSS	3D-TV тип 1/ 5.1	MPEG-4 AVC/ AAC	відео: 4,5-5 балів аудіо: 4 бали	DVB-S/ DVB-S2
	2-3	відео/ аудіо/ телетекст/ EPG	1920×1080i/ стерео	MPEG-4 AVC/ MPEG-1 Layer 2		
	4-15	відео/ аудіо/ розширені субтитри	720×576i/ стерео		відео: 4 бали аудіо: 3 бали	
8	1-5	відео/ аудіо/ телетекст/субтитри/ додаткові дані	720×576i/ стерео	MPEG-2/ HE-AAC v2	відео: 4-4,5 балів аудіо: 3 бали	DVB-C/ DVB-C2
	6-8	відео/ аудіо/ аудіокоментування				
	9-14	відео/ аудіо/ EPG/ телетекст/ субтитри	1920×1080p/ 5.1	MPEG-4 AVC/ MPEG-1 Layer 3	відео: 4,5-5 балів аудіо: 4 бали	
9	1-3	відео/ аудіо/ EPG телетекст/ WSS	720×576p/ стерео	MPEG-4 AVC/ MPEG-1 Layer 2	відео: 4,5-5 балів аудіо: 4 бали	DVB-T/ DVB-T2
	4-5	відео/ аудіо/ додаткові дані	1920×1080i/ стерео			
	6	відео/ аудіо/ субтитри/ PDC	720×576i/ стерео			
10	1-10	відео/ аудіо/ додаткові дані	176×144/ стерео	MPEG-4 AVC/ HE-AACv2	відео: 3 бали аудіо: 3 бали	DVB-H/ DVB-T2 Lite
	11-20	відео/ аудіо/ субтитри	352×288/ стерео	MPEG-4/ HE-AAC v1	відео: 4 бали аудіо: 4 бали	
	21-25	додаткові дані	-	-	-	
11	1-3	відео/ аудіо/ PDC/ субтитри/ WSS /	1280×720p/ 5.1	MPEG-4 AVC/ AAC	відео: 4-4,5 балів аудіо: 3 бали	DVB-C/ DVB-C2
	4	відео/ аудіо	3D-TV тип 2/ 5.1	MPEG-2/ HE-AAC v2		
	5-15	відео/ аудіо/ EPG/ телетекст/ субтитри	720×576i/ стерео	MPEG-4 AVC/ MPEG-1 Layer 3	відео: 4,5-5 балів аудіо: 4 бали	
12	1-12	відео/ аудіо/ аудіо/ телетекст	720×576i/ стерео	MPEG-4 AVC/ HE-AAC v1	відео: 5 балів аудіо: 4 бали	DVB-S/ DVB-S2
	13-18	відео/ аудіо/ розширені субтитри	1440×1080i/ стерео			
13	1-8	відео/ аудіо/ EPG	352×288/ стерео	MPEG-2/ HE-AAC v1	відео: 4 бали аудіо: 4 бали	DVB-H/ DVB-T2 Lite
	9-20	відео/ аудіо/ субтитри	176×144/ стерео	MPEG-4/ AAC		
	21-30	аудіо	стерео	HE-AAC v1	аудіо: 3 бали	

Продовження таблиці А.1

№ з/п	Номер PS	Тип програмних потоків	Параметри	Метод стиснення відео/ аудіо	Суб'єктивна оцінка за п'ятибальною шкалою	Стандарт мовлення
14	1-15	відео/ аудіо/EPG/ PDC/ додаткові дані/ WSS	720×576i/ стерео	MPEG-4 AVC/ AAC	відео: 4,5-5 балів аудіо: 4 бали	DVB-S/ DVB-S2
	16-24	аудіо	5.1	DTS	аудіо: 4 бали	
	25-30	аудіо	стерео	HE-AAC v2	аудіо: 3 бали	
15	1-8	відео/ аудіо/ телетекст/ WSS	1920×1080i/ 5.1	MPEG-4 AVC/ HE-AAC v1	відео: 5 балів аудіо: 4 бали	DVB-C/ DVB-C2
	9-13	відео/ аудіо/ додаткові дані	720×576i/ стерео	MPEG-2/ AAC	відео: 4 бали аудіо: 3 бали	
	14-21	відео/ аудіо/ телетекст	720×576i/ 5.1	MPEG-2/ AAC	відео: 5 балів аудіо: 3 бали	
16	1-7	відео/ аудіо/ субтитри/ EPG	720×576i/ 5.1	MPEG-2/ AAC	відео: 5 балів аудіо: 4 бали	DVB-S/ DVB-S2
	8-11	відео/ аудіо/ телетекст	720×576i/ стерео	MPEG-2/ HE-AAC v1		
	12	відео/ аудіо/ субтитри/ аудіокоментування	1440×1080i/ 5.1	MPEG-2/ DTS		
17	1-16	відео/ аудіо/ додаткові дані	720×576i/ стерео	MPEG-4 AVC/ HE-AAC v2	відео: 4,5-5 балів аудіо: 4 бали	DVB-S/ DVB-S2
	17-22	відео/ аудіо/ додаткові дані	720×576i/ стерео	MPEG-4 AVC/ HE-AAC v1	відео: 4 бали аудіо: 4 бали	
	23-24	відео/ аудіо/ телетекст	720×576i/ стерео	MPEG-2/ HE-AAC v1		
18	1-2	відео/ аудіо/ аудіо/ субтитри/ EPG	720×576i/ стерео	MPEG-2/ MPEG-1 Layer 2	відео: 4 бали аудіо: 4 бали	DVB-T/ DVB-T2
	5-8	аудіо/ телетекст	стерео	MPEG-1 Layer 2	аудіо: 3 бали	
	9	аудіо	стерео			
19	1-7	відео/ аудіо/ субтитри/ EPG	720×576i/ 5.1	MPEG-2/ AAC	відео: 4 бали аудіо: 3 бали	DVB-C/ DVB-C2
	8-12	відео/ аудіо/ субтитри/ WSS				
	11	відео/ аудіо	3D-TV тип 2/ стерео	MPEG-4 AVC/ HE-AAC v1	відео: 5 балів аудіо: 4 бали	
20	1-10	відео/ аудіо/ телетекст	720×576i/ стерео	MPEG-2/ AAC	відео: 4 бали аудіо: 4 бали	DVB-S/ DVB-S2
	11-13	відео/ аудіо/ субтитри	720×576i/ стерео			
	14-15	відео/ аудіо/ WSS/ субтитри	720×576i/ 5.1	MPEG-4 AVC/ AAC		

Продовження таблиці А.1

№ з/п	Номер PS	Тип програмних потоків	Параметри	Метод стиснення відео/ аудіо	Суб'єктивна оцінка за п'ятибальною шкалою	Стандарт мовлення
21	1	відео/ аудіо/ аудіо / аудіокоментування	720×576i/ стерео	MPEG-2/ HE-AAC v2	відео: 5 балів аудіо: 4 бали	DVB-C/ DVB-C2
	8-17	відео/ аудіо/ субтитри/ EPG	720×576i/ стерео	MPEG-4 AVC/ AC-3		
	18	відео/ аудіо/ додаткові дані	3D-TV тип 4/ 5.1	MPEG-4 AVC/ AAC		
22	1	відео/ аудіо/ аудіо/ телетекст/ WSS	720×576i/ 5.1	DTS	відео: 4-4,5 балів аудіо: 4 бали	DVB-T/ DVB-T2
	2-3	відео/ аудіо/ аудіо/ субтитри/ EPG	720×576i/ стерео	MPEG-2/ MPEG-1		
	4	відео/ аудіо/ аудіо/ субтитри/ PDC		Layer 2/ AC-3		
23	1	відео/ аудіо/ аудіо/ EPG	352×288/ стерео	MPEG-2/ AAC	відео: 4,5-5 балів аудіо: 4 бали	DVB-H/ DVB-T2 Lite
	2-4	відео/ аудіо/ розширені субтитри	176×144/ стерео	MPEG-4/ AAC	відео: 4 бали аудіо: 4 бали	
	5-12	додаткові дані	-	-	-	
24	1-8	відео/ аудіо/ додаткові дані	720×576p/ стерео	MPEG-2/ HE-AAC v1	відео: 4,5-5 балів аудіо: 4 бали	DVB-C/ DVB-C2
	9-28	аудіо/ додаткові дані	5.1	HE-AAC v1	аудіо: 4 бали	
25	1	відео/ аудіо/ EPG телетекст/ WSS	1920×1080i/ 5.1	MPEG-4 AVC/ DTS	відео: 4-4,5 балів аудіо: 4 бали	DVB-T/ DVB-T2
	4-5	відео/ аудіо/ субтитри/ телетекст	720×576i/ стерео	MPEG-4 AVC/ AC-3	відео: 4 бали аудіо: 4 бали	
	6	відео/ аудіо/ додаткові дані	720×576i/ стерео	MPEG-4 AVC/ HE-AAC v1	відео: 4 бали аудіо: 4 бали	
26	1-4	відео/ аудіо/ PDC/ WSS	720×576i/ 5.1	MPEG-2/ AAC	відео: 4-4,5 балів аудіо: 4 бали	DVB-C/ DVB-C2
	5-15	відео/ аудіо/ телетекст/ субтитри	720×576i/ стерео	MPEG-2/ AC-3		
27	1-12	відео/ аудіо/ телетекст/ WSS	720×576i/ стерео	MPEG-2/ HE-AAC v2	відео: 4 бали аудіо: 4 бали	DVB-S/ DVB-S2
	13	відео/ аудіо/ субтитри/ аудіокоментування	3D-TV тип 2/ стерео	MPEG-4 AVC/ HE-AAC v2	відео: 5 балів аудіо: 4 бали	
	14-23	аудіо	5.1	MPEG-1 Layer 3	аудіо: 4 бали	

Закінчення таблиці А.1

№ з/п	Номер PS	Тип програмних потоків	Параметри	Метод стиснення відео/ аудіо	Суб'єктивна оцінка за п'ятибальною шкалою	Стандарт мовлення
28	1-2	відео/ аудіо	3D-TV тип 5/ стерео	MPEG-4 AVC / AC-3	відео: 5 балів аудіо: 4 бали	DVB-C/ DVB-C2
	3-13	відео/ аудіо/ аудіо додаткові дані	720×576i/ стерео	MPEG-2/ HE-AAC v1	відео: 4 бали аудіо: 3 бали	
	14-25	аудіо/ EPG додаткові дані	720×576i/ стерео	AC-3	аудіо: 4 бали	
29	1-3	відео/ аудіо/ EPG телетекст/ WSS	720×576p/ стерео	MPEG-4 AVC/ MPEG-1 Layer 2	відео: 4-4,5 балів аудіо: 4 бали	DVB-T/ DVB-T2
	4-5	відео/ аудіо/ телетекст	1920×1080p/ стерео			
	6-7	відео/ аудіо/ субтитри/ PDC	720×576i/ стерео			
30	1-8	відео/ аудіо/ телетекст/ EPG	352×288/ стерео	MPEG-4 AVC / HE-AAC v1	відео: 4 балів аудіо: 4 бали	DVB-H/ DVB-T2 Lite
	10-20	аудіо	стерео	AAC	аудіо: 3 бали	
	21-23	додаткові дані	-	-	-	

Таблиця А.2 – Індивідуальні варіанти курсової роботи

№ з/п	Тип програми	Діапазон частот	Умови поширення радіохвиль	Ефективна випромінювана потужність передавача P_{Σ} , кВт
1	Художньо-інформаційний (стерео)	СЧ ($f_0 = 1530$ кГц)	поширення земною хвилею за відсутності значних завмирань	6
2	Інформаційний	ВЧ (13,57 – 13,87 МГц)	можливе поширення земною хвилею та просторовою хвилею, яка надходить у місце приймання з затримкою	10
3	Художньо-інформаційний (моно)	НЧ ($f_0 = 279$ кГц)	поширення земною хвилею за відсутності значних завмирань	25
4	Інформаційний	СЧ ($f_0 = 1,08$ МГц)	можливе поширення земною хвилею та просторовою хвилею, яка надходить у місце приймання з затримкою	1

Продовження таблиці А.2

№ з/п	Тип програми	Діапазон частот	Умови поширення радіохвиль	Ефективна випромінювана потужність передавача P_{Σ} , кВт
5	Художньо-інформаційний (стерео)	НЧ ($f_0 = 198$ кГц)	поширення земною хвилею за відсутності значних завмирань	25
6	Інформаційний	ВЧ (17,48 – 17,90 МГц)	можливе поширення земною хвилею та просторовою хвилею, яка надходить у місце приймання з затримкою	10
7	Художньо-інформаційний (моно)	ВЧ (15,0 – 15,875 МГц)	можливе поширення земною хвилею та просторовою хвилею, яка надходить у місце приймання з затримкою	1
8	Художньо-інформаційний (моно)	СЧ ($f_0 = 1539$ кГц)	можливе поширення земною хвилею та просторовою хвилею, яка надходить у місце приймання з затримкою	6
9	Художньо-інформаційний (моно)	НЧ ($f_0 =$ кГц)	поширення земною хвилею за відсутності значних завмирань	10
10	Художньо-інформаційний (стерео)	СЧ ($f_0 = 540$ кГц)	можливе поширення земною хвилею та просторовою хвилею, яка надходить у місце приймання з затримкою	10
11	Інформаційний	СЧ ($f_0 = 1,08$ МГц)	поширення земною хвилею за відсутності значних завмирань	5
12	Художньо-інформаційний (моно)	ВЧ (17,48 – 17,90 МГц)	можливе поширення земною хвилею та просторовою хвилею, яка надходить у місце приймання з затримкою	10
13	Інформаційний	НЧ ($f_0 = 279$ кГц)	поширення земною хвилею за відсутності значних завмирань	25

Закінчення таблиці А.2

№ з/п	Тип програми	Діапазон частот	Умови поширення радіохвиль	Ефективна випромінювана потужність передавача P_{Σ} , кВт
14	Інформаційний	ВЧ (17,48 – 17,90 МГц)	можливе поширення земною хвилею та просторовою хвилею, яка надходить у місце приймання з затримкою	1
15	Художньо-інформаційний (моно)	СЧ ($f_0 = 711$ кГц)	поширення земною хвилею за відсутності значних завмирань	10
16	Художньо-інформаційний (стерео)	НЧ ($f_0 = 198$ кГц)	поширення земною хвилею за відсутності значних завмирань	25
17	Інформаційний	СЧ ($f_0 = 540$ кГц)	можливе поширення земною хвилею та просторовою хвилею, яка надходить у місце приймання з затримкою	10
18	Художньо-інформаційний (стерео)	ВЧ (13,57 – 13,87 МГц)	можливе поширення земною хвилею та просторовою хвилею, яка надходить у місце приймання з затримкою	10
19	Художньо-інформаційний (стерео)	СЧ ($f_0 = 711$ кГц)	поширення земною хвилею за відсутності значних завмирань	25
20	Художньо-інформаційний (моно)	ВЧ (15,0 – 15,875 МГц)	можливе поширення земною хвилею та просторовою хвилею, яка надходить у місце приймання з затримкою	6

ДОДАТОК Б

ДОВІДКОВИЙ МАТЕРІАЛ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ЦИФРОВОГО ПОТОКУ

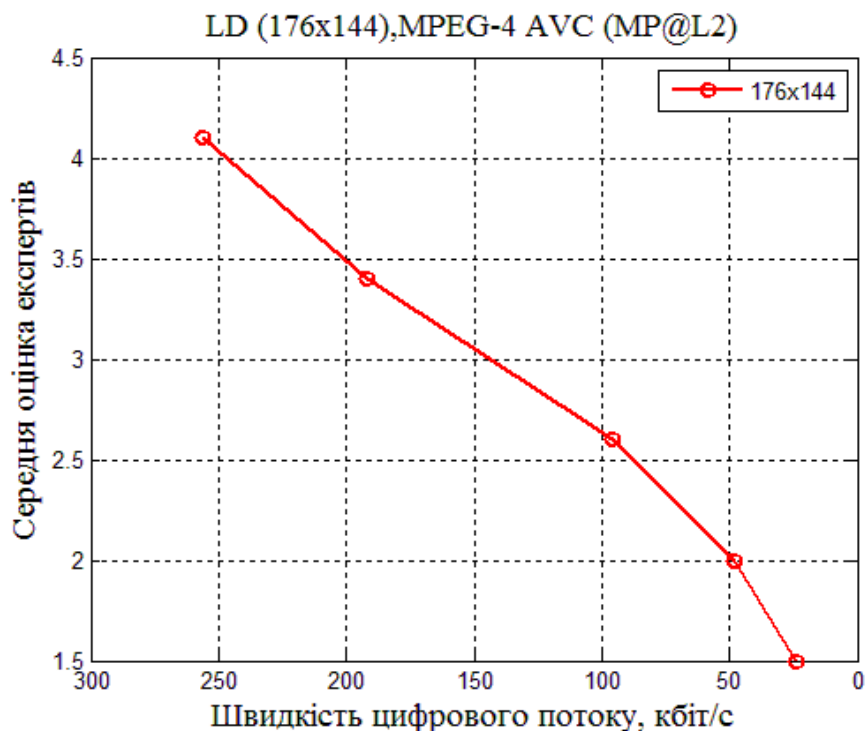


Рисунок Б.1 - Залежність суб'єктивної якості зображення від швидкості цифрового потоку на виході кодера MPEG-4 AVC для телебачення обмеженої чіткості з роздільною здатністю 176×144

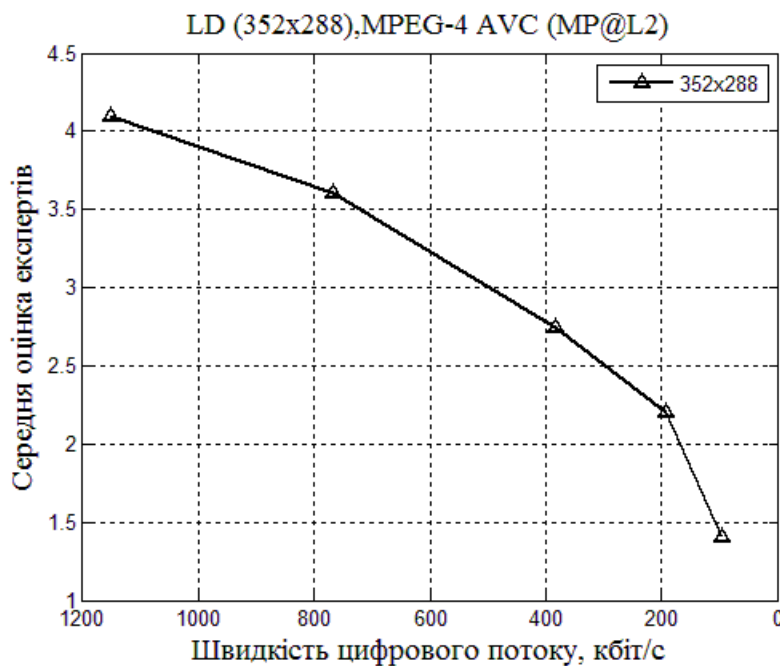


Рисунок Б.2- Залежність суб'єктивної якості зображення від швидкості цифрового потоку на виході кодера MPEG-4 AVC для телебачення обмеженої чіткості з роздільною здатністю 352×288

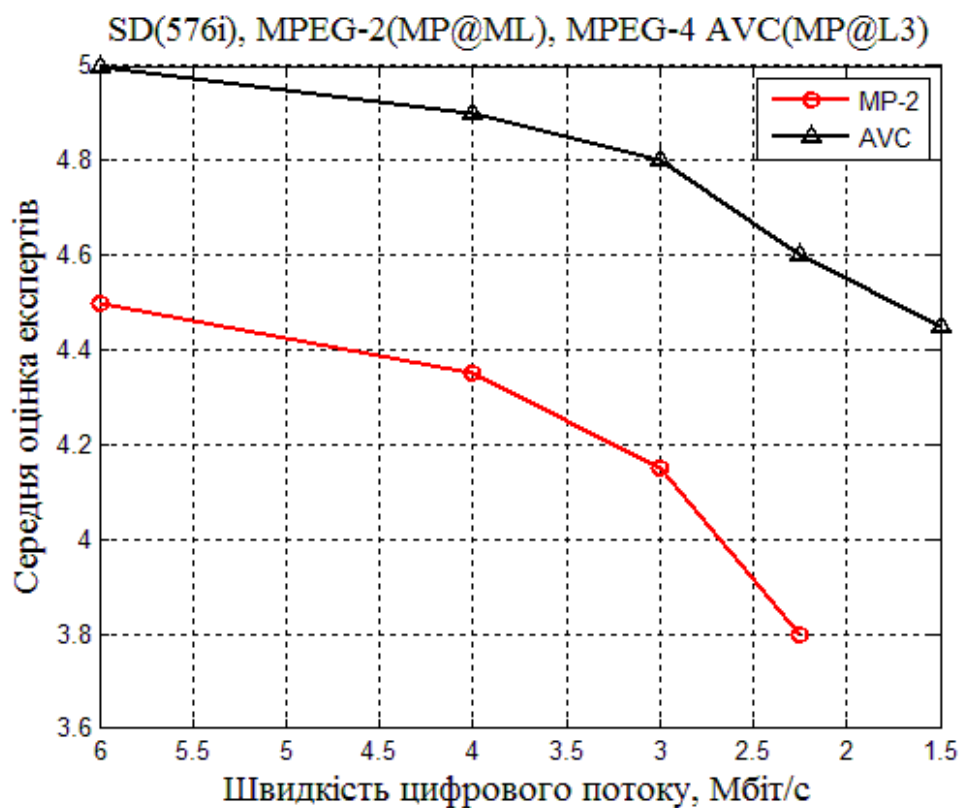


Рисунок Б.3 - Залежність суб'єктивної якості зображення від швидкості цифрового потоку на виході кодера MPEG для телебачення стандартної чіткості з роздільною здатністю 720×576

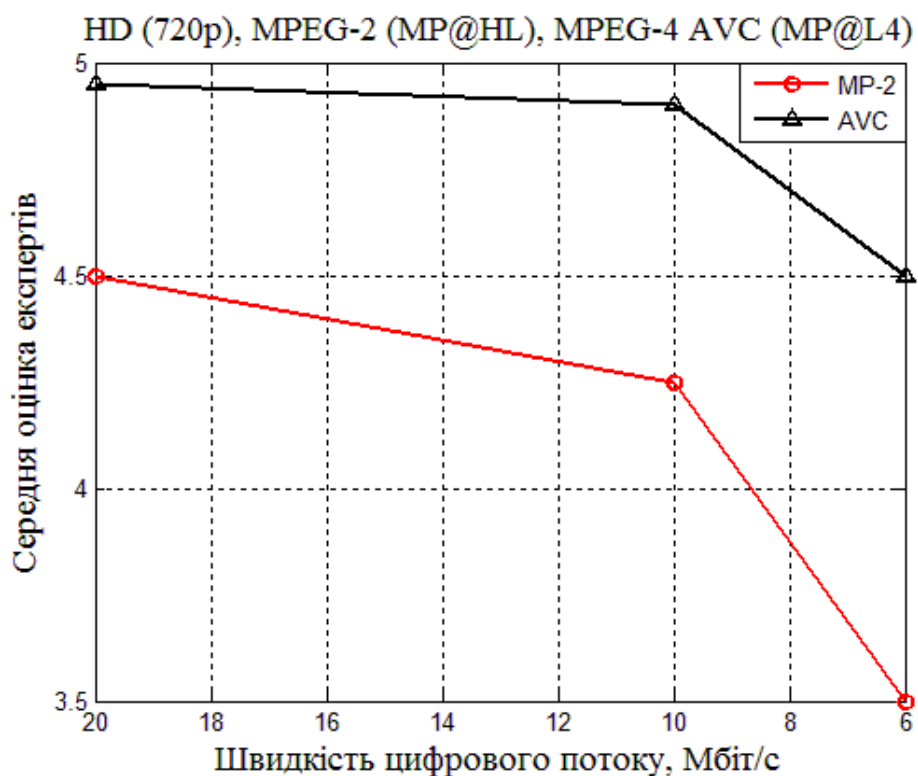


Рисунок Б.4 - Залежність суб'єктивної якості зображення від швидкості цифрового потоку на виході кодера MPEG для телебачення високої чіткості з роздільною здатністю 1280×720

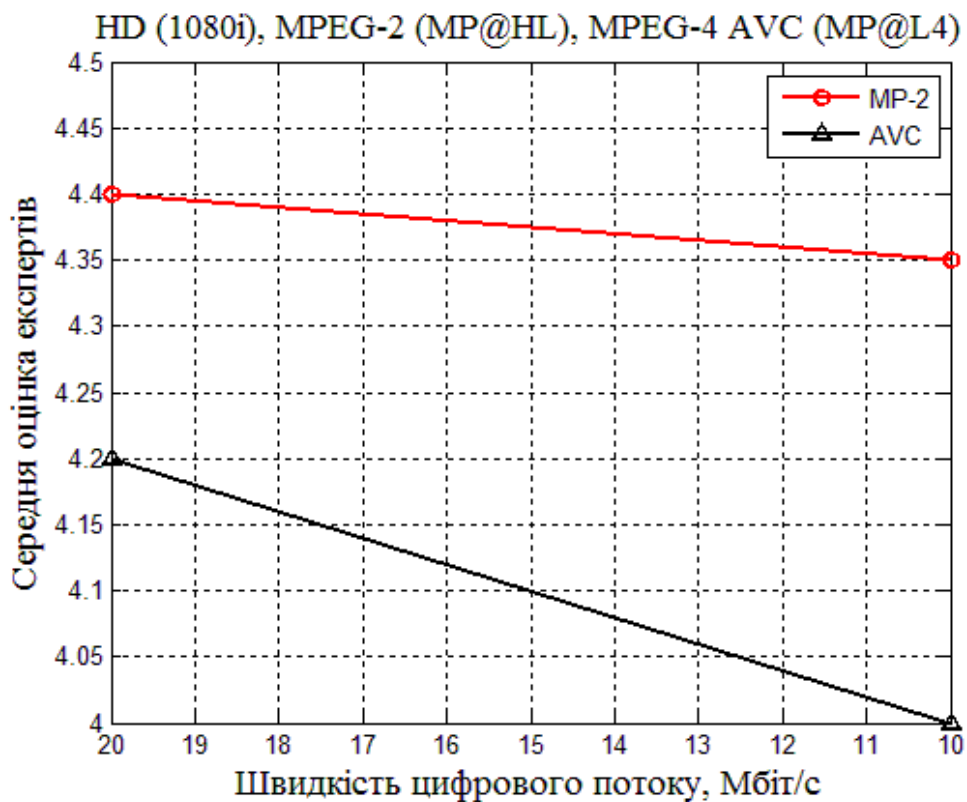


Рисунок Б.5 - Залежність суб'єктивної якості зображення від швидкості цифрового потоку на виході кодера MPEG для телебачення високої чіткості з роздільною здатністю 1920×1080i

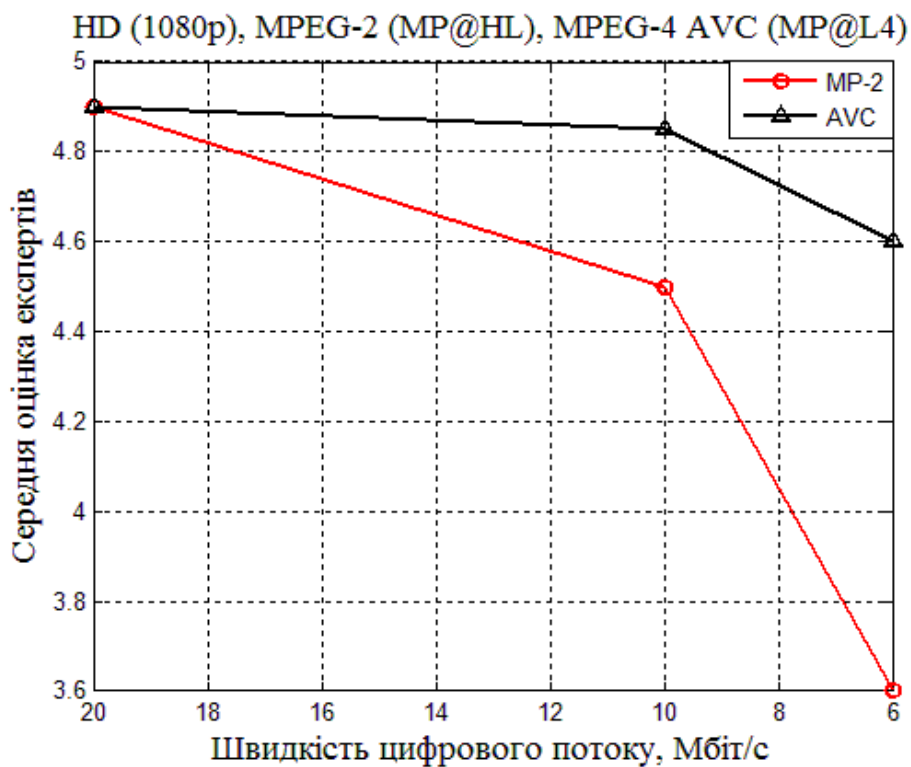


Рисунок Б.6 - Залежність суб'єктивної якості зображення від швидкості цифрового потоку на виході кодера MPEG для телебачення високої чіткості з роздільною здатністю 1920×1080p

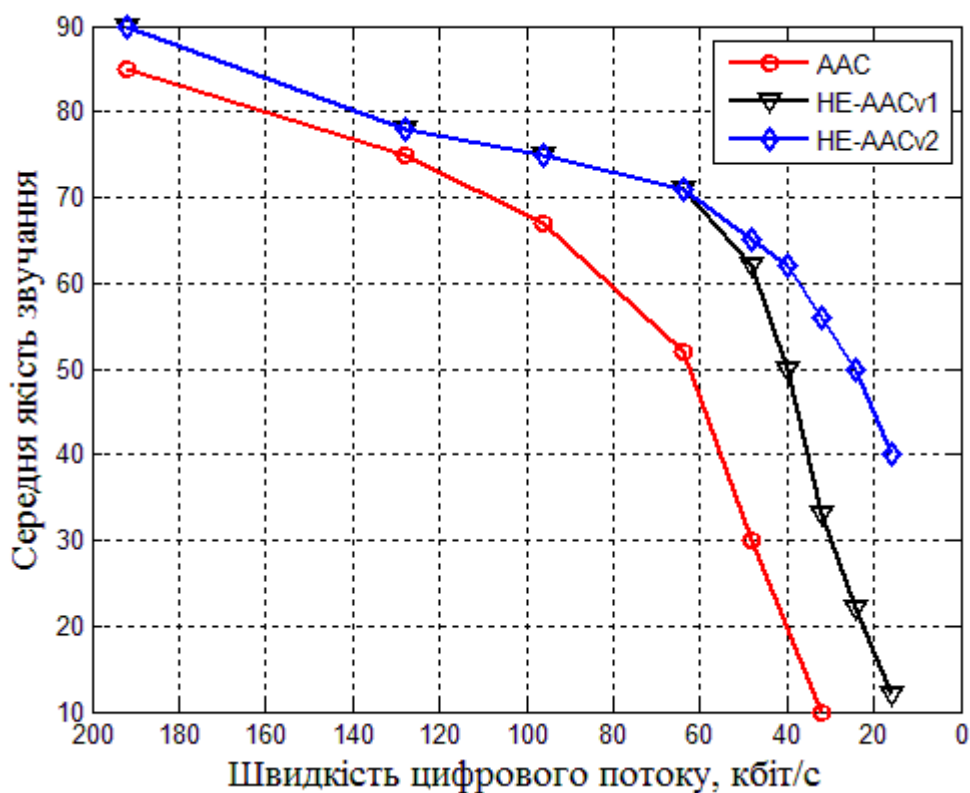


Рисунок Б.7 – Порівняння методів стиснення аудіоінформації AAC і обох версій стандарту HE-AAC

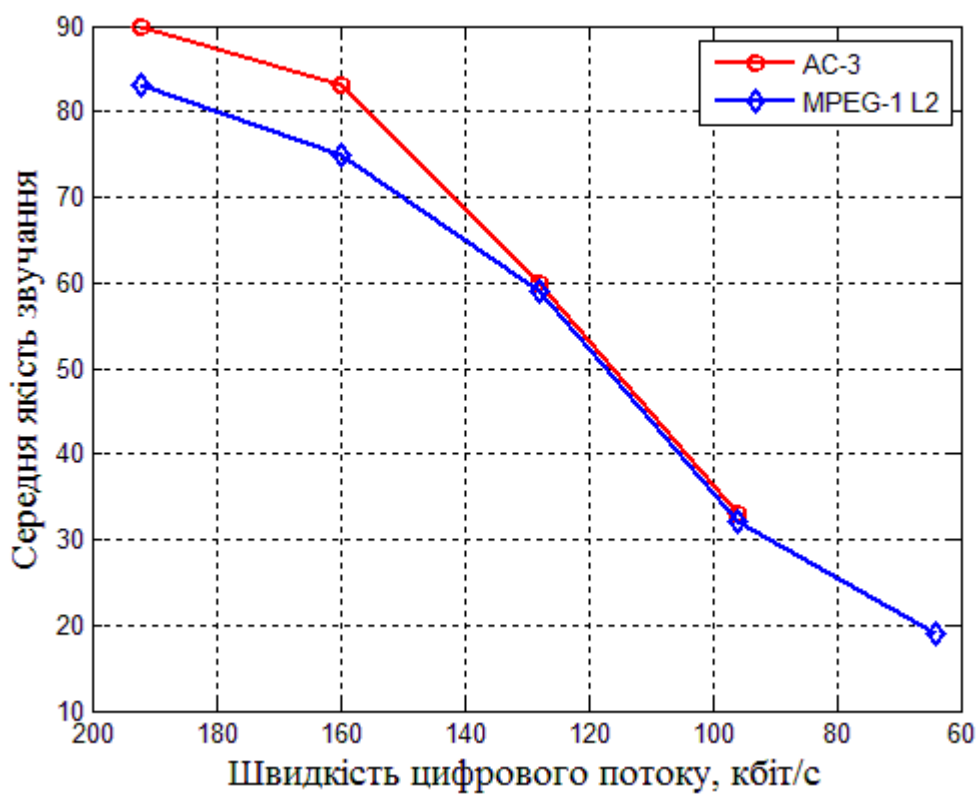


Рисунок Б.8 – Порівняння методів стиснення AC-3 та MPEG-1 Layer II

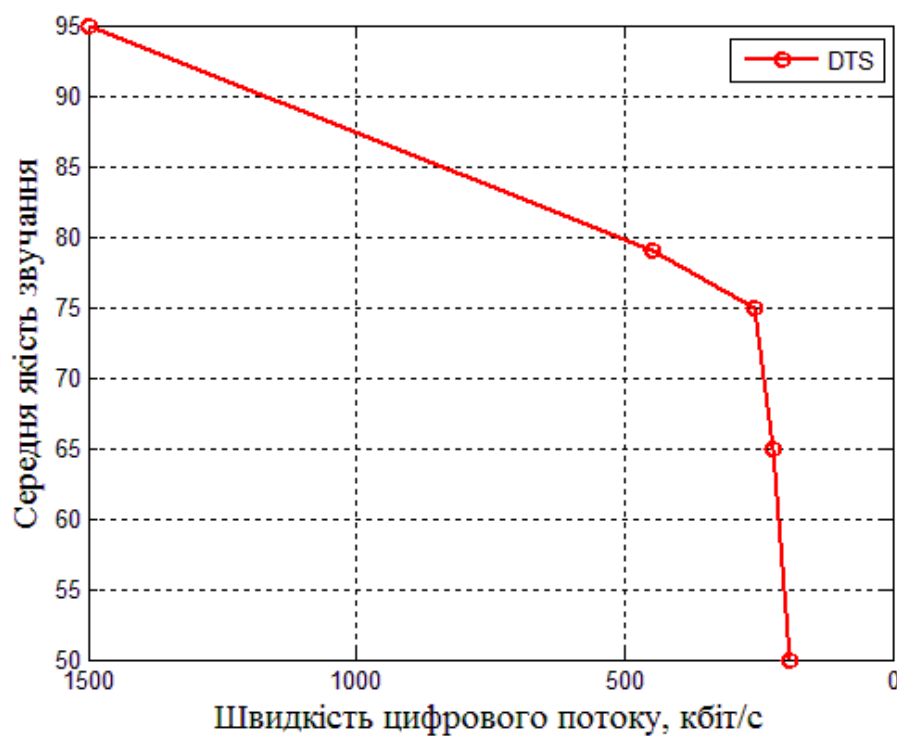


Рисунок Б.9 – Залежність середньої якості звучання від швидкості цифрового потоку для методу DTS стиснення сигналів оточуючого звуку

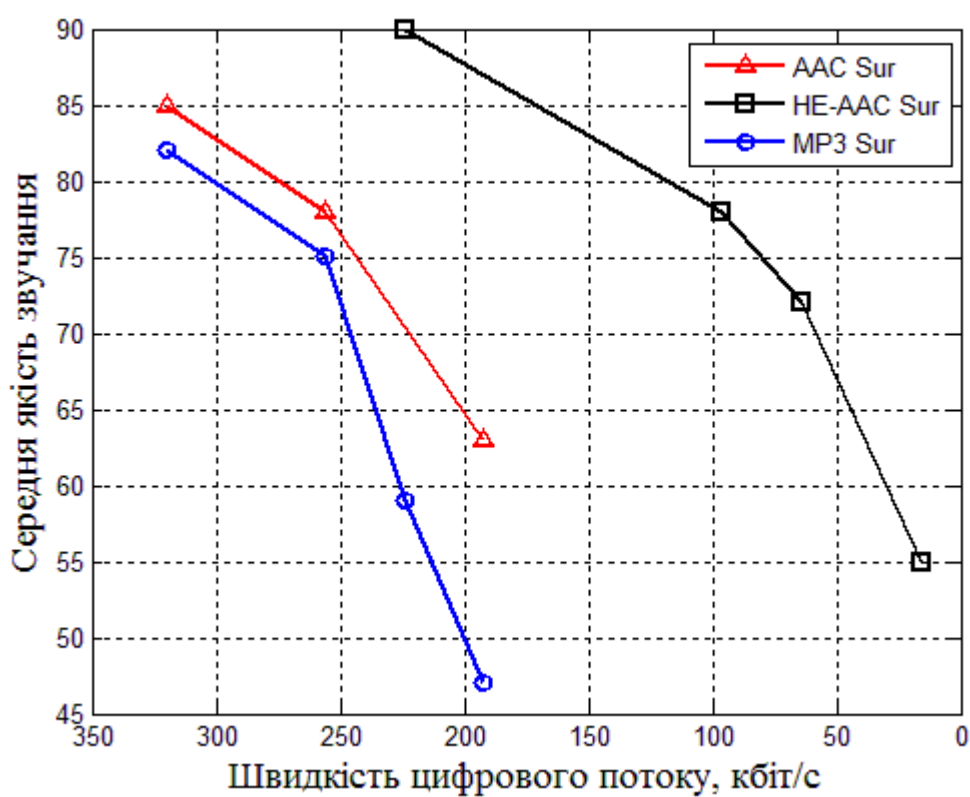


Рисунок Б.10 – Залежність середньої якості звучання від швидкості цифрового потоку для методів AAC (sur), HE-AAC (sur) MPEG-1 Layer III (sur) стиснення сигналів оточуючого звуку

ДОДАТОК В
ПРИКЛАД ТИТУЛЬНОЇ СТОРІНКИ ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку

Кафедра радіоелектронних систем та технологій

КУРСОВА РОБОТА
МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ТА ОЦІНКА
ЕФЕКТИВНОСТІ СУЧАСНИХ
СИСТЕМ ЦИФРОВОГО МОВЛЕННЯ

виконав: студ. 4 курсу, групи Р-4.1

Зубенко О.В.

перевірив: Баляр В.Б.

захищено з оцінкою «_____»

“_____” _____ 20__ року