



Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Дунець В.Л.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**З А В Д А Н Н Я  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

студенту Закітнюк Наталія Олександрівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Метод стиснення звукових сигналів у телекомунікаційних системах

Керівник роботи Дунець Василь Любомирович, к.т.н.

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

Затверджені наказом ректора від «24» листопада 2020 року № 4/7-870

2. Термін подання студентом завершеної роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи Об'єкт дослідження: процес стиснення звукових сигналів у

телекомунікаційних системах; Предмет дослідження: статистичні методи опрацювання сигналів

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітична частина

2. Основна частина

3. Науково-дослідна частина

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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



## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Метод стиснення звукових сигналів у телекомунікаційних системах» // Кваліфікаційна робота // Закітнюк Наталія Олександрівна // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РРм-61 // Тернопіль, 2020 // с. – 55, рис. – 33, табл. – 4, додат. – 2, бібліогр. – 20.

Ключові слова:

Ключові слова: МЕТОДИ СТИСНЕННЯ МОВНИХ СИГНАЛІВ, КІХ-ФІЛЬТР, АЛГОРИТМ, СПЕКТР СИГНАЛУ, ЧАСТОТНИЙ АНАЛІЗ.

В кваліфікаційній роботі досліджено стиснення звукових сигналів субсмуговим методом, заснованим на використанні КІХ-фільтру.

## ANNOTATION

Theme of qualification work: "Method of compression of sound signals in telecommunication systems" // Qualification work // Zakitnyuk Natalia Alexandrivna// Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyuy, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, group PPM-61 // Ternopil, 2020 // with. - 55, fig. - 33, table. - 4, appendix. - 2, bibliogr. - 20.

Keywords: METHODS OF COMPLETION OF SPEECH SIGNALS, KIH-FILTER, ALGORITHM, SIGNAL SPECTRUM, FREQUENCY ANALYSIS.

In the qualification work the compression of sound signals by subband analysis based on the use of FIR filter is investigated.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	9
1.1 Алгоритми і методи стиснення звукових сигналів.....	9
1.2 Фільтрація на основі КІХ-фільтрів.....	11
1.3 Субсмугове перетворення на основі використання банків КІХ-фільтрів.....	16
1.4 Висновки до розділу 1.....	21
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	22
2.1. Розрахунок вектора субсмугового перетворення відрізка мовного сигналу на основі КІХ-фільтрів.....	22
2.2. Субсмугове перетворення із стисненням.....	26
2.6. Висновки до розділу 2.....	32
РОЗДІЛ 3. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	33
3.1. Частотний аналіз відновлених звукових сигналів.....	33
3.2. Оцінка похибки відновлення, коефіцієнта стиснення і якості відтворення сигналів.....	37
3.3. Висновки до розділу 3.....	40
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	42
4.1. Охорона праці.....	42
4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	45
4.3. Висновки до розділу 4.....	47
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	48
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	50
Додаток А. Лістинг алгоритму стиснення мовного сигналу.....	52
Додаток Б. Лістинг другого способу алгоритму стиснення звукових сигналів.....	54

## ВСТУП

### **Актуальність роботи.**

В останні роки можна спостерігати вибухове зростання у використанні мережі Інтернет та мобільних телефонів, а зближення двох цих технологій відкриває широкий діапазон нових можливостей на вже процвітаючому ринку мультимедіа. Важливою складовою мультимедійного трафіку є аудіоінформація [9]. Таким чином, актуальною є задача стиснення (кодування) звукових сигналів.

Стиснення - одне із завдань, що вирішуються в галузі телекомунікацій [8]. Необхідність стиснення присутній як в комунікаціях, так і в самій інформації. Виявляється, немислимим реалізувати переноси на високих швидкостях через мережу комп'ютерів без використання якоїсь тип стиснення, яке дозволяло б зменшити час передачі.

Те ж саме відбувається з пристроями зберігання, які, незважаючи на те, що їх обсяг постійно збільшується, дозволяють набагато ефективніше використовувати вищезгадану техніку.

При передачі сигналів різних типів, необхідно оптимізувати характеристики сигналу з метою трансляції більшої кількості інформації. Зазвичай це здійснюється за допомогою будь-якого методу стиснення, який забезпечував би мінімум помилок при відновленні.

Відповідно до загальної теореми передачі інформації [8] завжди можливо передавати інформацію на швидкості меншій, ніж здатність каналу з відносно маленькою помилкою, навіть в присутності шуму.

Поняття пропускної здатності каналу також, як і обсяг інформації і кодифікації вивчаються в теорії інформації.

Засоби передачі сигналів, які використовуються щодня: електромагнітні хвилі, провідні металеві лінії передачі і оптоволокна.

Місце, яке займає кодифікована інформація (дані, цифровий сигнал, і т.д.) без стиснення - приватна (відношення) між частотою відліків і дозволом. Отже,

чим більше кількість використаних біт, тим більше буде розмір файлу. Стиснення використовується для того, щоб передавати таку саму кількість вихідної інформації, меншою кількістю біт [6].

Стиснення аудіосигналів (АС) може бути здійснено як без втрат (архівація), так і з втратами, причому до останнього випадку відноситься субполосмугове перетворення.

Мета даної роботи є розробка алгоритму стиснення звукових сигналів з використанням методу субсмугового перетворення для зменшення обсягу даних, що зберігаються на зовнішніх носіях інформації.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання:

1. Дослідження методів стиснення звукового сигналу на основі субсмугового кодування;
2. Розробка алгоритмів стиснення мовного сигналу з використанням субсмугового перетворення на основі КІХ-фільтрації;
3. Економічна оцінка результатів дослідження.

**Об'єкт дослідження:** процес стиснення звукових сигналів з використанням методу субсмугового перетворення для зменшення обсягу даних, що зберігаються на зовнішніх носіях інформації

**Предмет дослідження:** алгоритм стиснення звукових сигналів з використанням методу субсмугового перетворення

**Методи дослідження:** цифрова обробка сигналів. Matlab.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Здійснено стиснення звукових сигналів субсмуговим аналізом, заснованим на використанні КІХ-фільтрів.

**Публікації.**

Викладені в роботі результати доповідалися та обговорювалися на 3-ій Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених та студентів «Сучасні інформаційні системи та технології» (м.Херсон, 30 листопада 2020 р.).



## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

#### 1.1 Алгоритми і методи стиснення звукових сигналів

Стиснення аудіо (звуку) - це форма стиснення даних, заснована на скороченні розміру файлів аудіо. Алгоритмічне стиснення аудіо зазвичай названі «кодекси» аудіо. Існують два типи стиснення, заснованих на алгоритмі стиснення без втрат і на алгоритмі стиснення з втратою [10].

Звук - це пружне коливання середовища, яке поширюється в середовищі за допомогою хвиль за допомогою коливання атомів і молекул. Як і будь-яка хвиля, звук характеризується швидкістю, амплітудою і частотою [16].

При згадуванні про аудіо, ми говоримо про коригування звуку до іншого способу, кроку до опори. Існують різні опори аудіо, як це може бути вініл, магнітні стрічки або цифровий формат як WAV, MP3 або OGG [10].

Стиснення аудіо - процес, через який скорочується ставка біт цифрового сигналу аудіо і як кінець скорочення його ваги до диска. Найближче або надійне аудіо щодо реального звуку - зазвичай WAV 32 біт і 192 кГц. У міру того, як стискається аудіо скорочується ця вартість, з чим втрачається вірність щодо фізичного звуку.

Під час того, щоб говорити про стиснення потрібно враховувати дві концепції:

1. Надмірність: повторні дані або легко передбачувані;
2. Ентропія: нова чи істотна інформація, яка визначається як різниця між повною кількістю даних повідомлення і його надмірністю.

Інформація, яку передають дані, може бути трьох типів:

1. Надлишкова: повторна або передбачувана інформація.
2. Недоречна (нерелевантні): інформація, яку ми не можемо оцінювати, і усунення якого, отже, не стосується зміст повідомлення.

3. Основна: значуща (релевантна). Та, яка не є ні надлишковою, ні недоречною. Та, яка повинна бути переданою для того, щоб було можливо відновлювати сигнал.

Маючи на увазі ці три типи інформації, встановлюються три типи типології стиснення інформації:

1. Без реальних втрат: тобто, передаючи всю ентропію повідомлення (вся основна і недоречна інформація, але видаляючи надлишкову).

2. Суб'єктивно без втрат (архівація): тобто, крім видалення надлишкової інформації, видаляється також недоречна.

3. Суб'єктивно з втратами: видаляється деяка кількість основної інформації, отже, сполучення буде відновлено сприймаються, але терпимими помилками (наприклад, відеоконференція).

З раніше вищезазначеним, для стиснення звукових сигналів з втратами використовують такі кодифікатори, які діляться на три класи: форми хвилі (waveform coders), джерела (source coders) і гібриди (hybrid coders):

1. кодифікатор форми хвилі (кодування форми сигналу) пробують виробляти сигнал, який був би самим схожим на оригінал, і алгоритми, які вони використовують, зазвичай низької комплексності. Так, наприклад, ІКМ, дельта модуляція, ДІКМ, АДІКМ, дискретне косинусне перетворення, субсмугове кодування і т.д. ;

2. кодифікатор параметрів мовного сигналу (вокодер) - вони працюють, використовуючи модель форми, в якій був проведений сигнал, і приєднують з кодифікованим сигналом параметр вищезгаданої моделі, яка передана декодера;

3. Гібридні кодифікатори - напівкодери поєднують двох попередніх, щоб використовувати їх характеристики.

Найбільш ефективні методи стиснення мовних сигналів засновані на декомпозиції вихідного сигналу на компоненти і кодуванні цих компонент. Мовні сигнали відносяться до класу нестационарних сигналів, що багато в чому ускладнює їх коректну декомпозицію, тому що більшість методів розкладання сигналів, побудовані на припущенні про стаціонарність сигналу [3].

Одним з основних методів обробки сигналів є лінійне перетворення. Субсмугове кодування (застосовуються також терміни «субсмугова фільтрація», «субсмугове перетворення», «подсмугове кодування») є окремим випадком лінійного перетворення і має численні корисні властивості.

## 1.2. Фільтрація на основі КІХ-фільтрів

ЦФ є одним з потужним інструментальним засобом ЦО сигналів. ЦФ можуть відповідати технічним вимогам за параметрами, які важко або є неможливим при досягненні при аналоговій формі. Параметри ЦФ можна змінювати програмним способом. Такі фільтри мають широке застосування при розв'язанні телекомунікаційних задач, в адаптивних фільтраціях, подавлення шумів та ідентифікація мови [1-3].

Процедура проектування ЦФ містить такі ж етапи, як і процедура проектування фільтрів аналогового типу. На початковому етапі формулюються ряд вимог щодо необхідних параметрів фільтра, згідно яких здійснюється розрахунок параметрів фільтра. Амплітудно-фазові параметри формуються так як і у випадку аналогової фільтрації. Головна відмінність аналогового фільтру від цифрового фільтру це відмінність числення значень ємностей, опорів та індуктивностей у випадку аналогової фільтрації. Тобто у випадку фільтрації цифрової здійснюється процес заміни чисел фізичного опору і ємності фільтру аналогового типу. Такі числа є коефіцієнтами фільтрації, які завжди перебувають в запам'ятовуючому елементі і застосовуються при обробці (фільтруванні) числових даних дискретного типу, які поступають з АЦП.

ЦФ, який функціонує в масштабі реального часу, здійснює оперування з дискретизованими в часі даними на відміну сигналу неперервного типу, який обробляє фільтр аналоговий. Наступний відлік, який відповідає відгуку фільтра, утворюється після завершення періодів дискретизаційного процесу.

Є два типи ЦФ: фільтри кінцевою ІХ (КІХ) і фільтри з нескінченною ІХ (НІХ). Як наслідок з термінів, така класифікація є відносною до ІХ фільтрів. При зміні вагових коефіцієнтів і загальну кількість ланок фільтра-КІХ

забезпечується реалізація з точки практики будь-які частотні характеристики. Фільтри-КІХ можуть володіти такими властивостями, яких неможливо добитися при аналогій фільтрації (тобто, ідеальну лінійну фазову характеристику). Проте найбільш ефективні фільтри-КІХ будують з великою кількістю операцій множення з подальшою процедурою накопичення, тому необхідно мати високошвидкісні процесори DSP. Другим способом щодо реалізацій КІХ або БІХ фільтрувань є фільтри гратчастого типу, які переважно є застосовними при обробці мови. ЦФ використовують в додатках фільтрації адаптивного типу, через свою швидкодію і простоту зміни параметрів за рахунок зміни його коефіцієнтів.

Елементарно. формою фільтру-КІХ є фільтр варіативного середнього (average moving), який зображено на рис. 1.1.

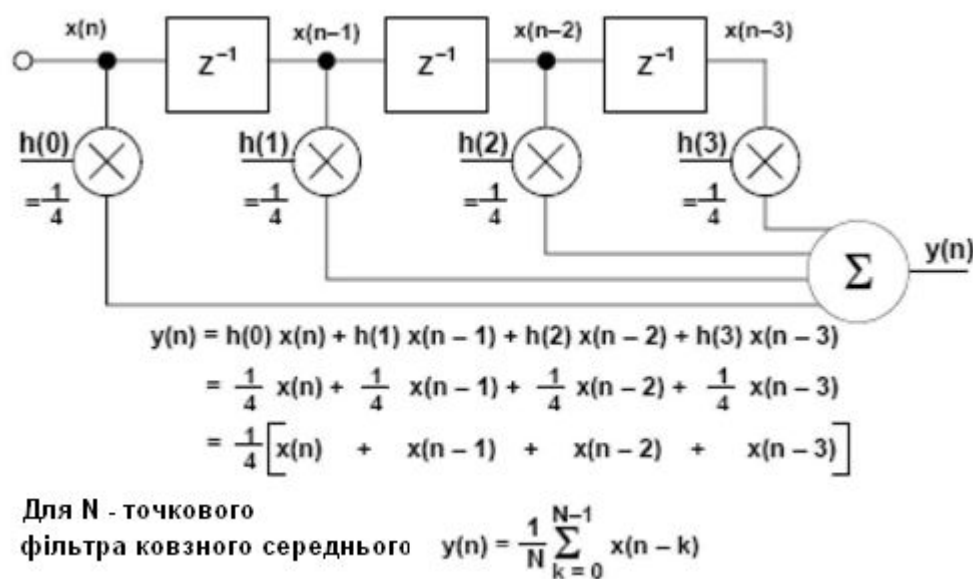


Рис.1.1. Фільтр-КІХ варіативного середнього

Фільтри змінного середнього популярні для згладжування даних. Відліки на вході  $x(n)$  проходять через низку регістрів запам'ятовуючих елементів (позначені  $z^{-1}$  як затримка  $z$ -перетворення). У наведеному прикладі є 4 каскади, які відповідають 4-ох точковому фільтру варіативного середнього. Кожен з відліків перемножується на число 0,25 з подальшим підсумуванням

для одержання значення варіативного середнього, яке подається на вихід у (n). На малюнку також представлено загальне рівняння фільтра, змінного середнього на N точок. Знову звертаємо увагу, що N відноситься до числа точок при обчисленні фільтра, а не до роздільної здатності АЦП або ЦАП, як в попередніх розділах.

Узагальнену структуру фільтра-КІХ з кількістю N ланок зображено на рис. 1.2.

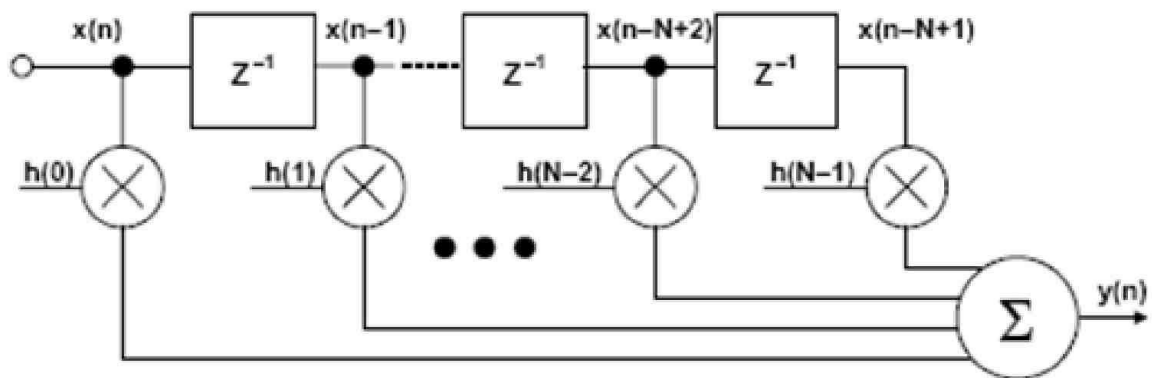


Рис. 1.2. Узагальнена структура фільтра-КІХ

Як згадувалося, фільтр-КІХ має функціонувати у відповідності до виразу згортки:

$$Y(n) = h(k)x(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)x(n-k) \quad (1.1)$$

де  $h(k)$  - множина коефіцієнтів фільтра і  $x(n-k)$  масив вхідних даних на фільтр. Кількість  $N$  у виразі є кількістю ланок і визначає показники ефективності фільтра. Фільтр-КІХ з кількістю  $N$  ланок вимагає  $N$ -ну кількість операцій перемноження з процедурою накопичення.

Розробка фільтрів-КІХ базована передусім на тому, що характеристика фільтра в частотному діапазоні повністю є визначеною ІХ, а також на тім, що фільтрові коефіцієнти є визначеними власною квантованою ІХ.

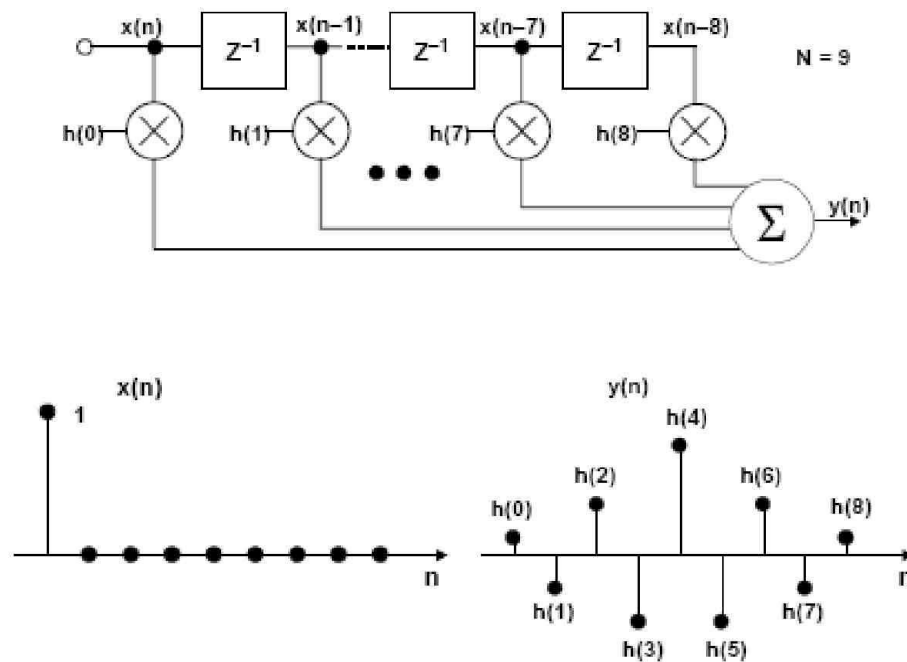


Рис. 1.3. ІХ фільтра-КІХ

До входу фільтра-КІХ-подається імпульс одиночного виду  $i$  на його виході генеруються (формується) фільтрові коефіцієнти з урахуванням впливу елементів затримки.

Отже, процедура розробки фільтра-КІХ передбачає визначення його ІХ за необхідною ЧХ з наступною процедурою квантування ІХ під час генерування фільтрових коефіцієнтів.

У системі дискретній процедуру згортки можна подати рядом операцій перемноження з процедурою накопичення. Операція згортки в часовій/частотній області тотожна перемноженню "точка на відповідну точку" у заданій області дуального типу. Розглянемо випадок, коли згортка в часовому просторі є еквівалентною перемноженню області частотного простору. Є очевидним, що процедура фільтрації в частотному просторі може бути виконаною операцією перемноженням на 1 усіх компонентів частотного простору в діапазоні пропускання та перемноженням на 0 усіх компонентів частотного діапазону в діапазоні затримки. Також навпаки, процедура згортки в частотному просторі є еквівалентною перемноженню "точка на відповідну точку" в часовому просторі.

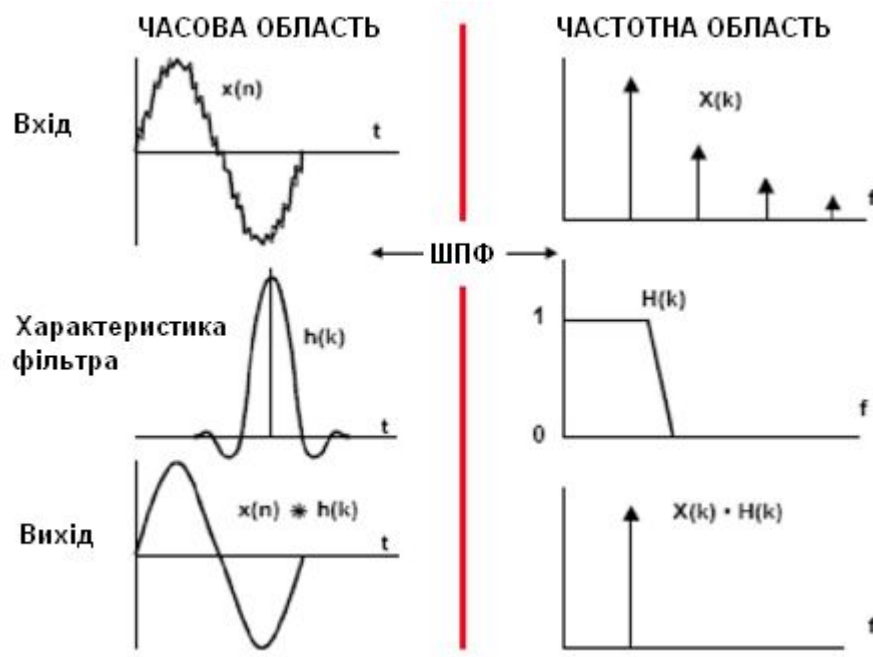


Рис. 1.4. Результати ЦФ

Передавальна функція в частотному просторі (1 або 0) має змогу бути відображеною в часовому просторі при застосуванні дискретизованої трансформації (перетворення) Фур'є (ДПФ) (на практиці перевагу віддають ШПФ). В часовому просторі це формує ІХ фільтра. Оскільки операція перемноження в частотному просторі (спектральне зображення сигналу перемножить на передавальну функцію фільтра) є тотожною сумуванню в часовому просторі (сигнал є згорнутим з ІХ), тоді сигнал має змогу бути фільтрованим через процедуру обчислення згортки з ІХ фільтра. Така задача фільтрування при застосуванні фільтрів-КІХ є з повною точністю такою процедурою. Оскільки є справа з системою дискретизованою, тому сигнал і ІХ підлягають квантуванню в часі та за амплітудним рівнем, формуючи при цьому множину відліків дискретизованих. Дискретизуючі відліки, які містять необхідну ІЄ є відповідними коефіцієнтами (параметрами) фільтра-КІХ [3].

Математичний застосунок при розробці фільтрів переважно є базованим на трансформації Фур'є. В неперервних в часовому просторі системах як узагальнююча трансформація Фур'є здатна розглядатися як трансформація Лапласа. Ідентичним методом, який дає змогу узагальнювати трансформацію

Фур'є для дискретизованих в часовому просторі систем, і відповідно, результат відповідного узагальнення є відомим z-перетворенням.

Необхідно підкреслити, що використовується в даний час підхід до частотної фільтрації на основі застосування КІХ-фільтрів не дозволяє здійснити виділення складової, яка визначається тільки енергією суміші, зосередженої в заданій частотній смузі. Крім того, при побудові КІХ-фільтрів використовуються критерії, що гарантують оптимальність тільки з точки зору мінімуму похибки наближення до прямокутного виду трансформанти Фур'є їх імпульсної характеристики. При цьому не розглядається оптимальність вихідних послідовностей КІХ-фільтрів з позицій похибки наближення в заданому частотному інтервалі трансформанти Фур'є вихідного відрізка даних.

Однак, трансформанта Фур'є виділяється адитивної компоненти повинна бути оптимальною в сенсі найкращого середньоквадратичного наближення трансформанти Фур'є суміші в заданому частотному інтервалі і нульового значення поза ним (частотного інтервалу).

Таким чином, необхідно розробити математичні основи методу лінійної частотної фільтрації, що дозволяє виділити з оброблюваної послідовності даних адитивну складову, оптимальну в зазначеному вище сенсі, і залежить тільки від частки енергії вихідної суміші, зосередженої в заданому частотному інтервалі.

Розробка математичних основ такої лінійної частотної фільтрації і становить основний зміст наступних параграфів розділу.

### 1.3. Субсмугове перетворення на основі використання банків КІХ-фільтрів

Істотну частку обсягу трафіку в інформаційно - телекомунікаційних системах становить обмін звуковими даними. У зв'язку з цим інтенсивно розвиваються методи скорочення обсягів бітових уявлень звукових файлів (стиснення даних), що призвело до створення ряду форматів кодування даних з втратами, наприклад, MP3.



Для збереження прийняттого рівня якості відтворення звуку при кодуванні даних з метою стиснення прийнято враховувати властивості людського слуху, які описуються за допомогою так званої психоакустичної моделі. Основу психоакустичної моделі складають частотні подання, що призводить до необхідності вибірково перетворювати спектральні компоненти з різних частотних діапазонів.

В даний час все більшого поширення набуває підхід на основі так званого субсмугового кодування.

Традиційно кодери, засновані на лінійному перетворенні, діляться на дві групи: кодери з перетворенням і субполосні кодери.

Субсмугове кодування реалізується шляхом згортки сигналу з декількома смуговими фільтрами і децимації результату. Сукупність набору фільтрів з дециматор називається банком або блоком фільтрів. Кожен отриманий в результаті перетворення сигнал несе в собі інформацію про спектральній складовій вихідного сигналу при деякому просторовому (тимчасовому) масштабі. Так відбувається аналіз сигналу. Для зворотного синтезу сигналу (його реконструкції) виконується операція інтерполяції субсмугових сигналів, фільтрація і їх складанням [2, 10].

При субсмуговому кодуванні вихідний вектор значень сигналу замінюється вектором такої ж розмірності

$$\mathbf{y} = (\mathbf{y}'_1, \mathbf{y}'_2, \dots, \mathbf{y}'_R)^T, \quad (1.2)$$

де  $R$  - кількість інтервалів, на які розбивається вісь нормованих частот;

$\mathbf{y}'_r = (y_{k1}, \dots, y_{kM_k})^T$  - підвектора, який відображає частотні властивості вихідного сигналу в деякому інтервалу частот;

$$k = 1, 2, \dots, R;$$

$$\sum_{k=1}^R M_k = N; \quad -\omega_{M2} = -\pi, \quad \omega_{M2} = \pi.$$

$$V_k = [-\nu_{k2}, -\nu_{k1}) \cup [\nu_{k1}, \nu_{k2}); \quad (1.3)$$

Звісно ж природним вектор  $\mathcal{Y}_r$  називати субсмуговим перетворенням вихідного вектора  $\vec{x}$ .

У відомих підходах до субсмугового кодування використовується розбиття осі частот на інтервали однакової довжини, так що

$$\Omega = \nu_{k2} - \nu_{k1} = \frac{\pi}{R} = \text{const}, \quad (1.4)$$

і тому виконуються рівності

$$\nu_{k1} = (k-1) \frac{\pi}{R}; \quad \nu_{k2} = k \frac{\pi}{R}. \quad (1.5)$$

При цьому розмірності підвектора в (3.1) вибираються однаковими і рівними

$$M_k = M = \frac{N}{R}, \quad (1.6)$$

так що загальна розмірність  $N$  вибирається кратною кількості частотних інтервалів  $R$ .

Для отримання компонент підвектора субсмугового перетворення (3.1) в даний час використовується КІХ-фільтрація з проріджуванням вихідних послідовностей КВХ-фільтрів, так що

$$y_{ki} = \sum_{n=1}^N h_{1+(i-1)L-n}^k \cdot X_n, \quad i = 1, \dots, M, \quad (1.7)$$

де  $h_r^k$  - імпульсна характеристика  $k$ -того КІХ-фільтра з пропускнуою здатністю виду (1.4), межі якої визначаються з співвідношень (1.5);  $r=1, 2, \dots, R$ ;  $L$  - тривалість імпульсних характеристик.

Більшість методів синтезу фільтрів направлено на усунення накладання спектрів («елайзінга»), що виникає при децимації. Ідеальний банк фільтрів повинен включати фільтри з прямокутною характеристикою, що запобігають разом з тим елайзінг.

На рис. 1.5 показана система, що здійснює таке перетворення за допомогою банків фільтрів аналізу - синтезу.

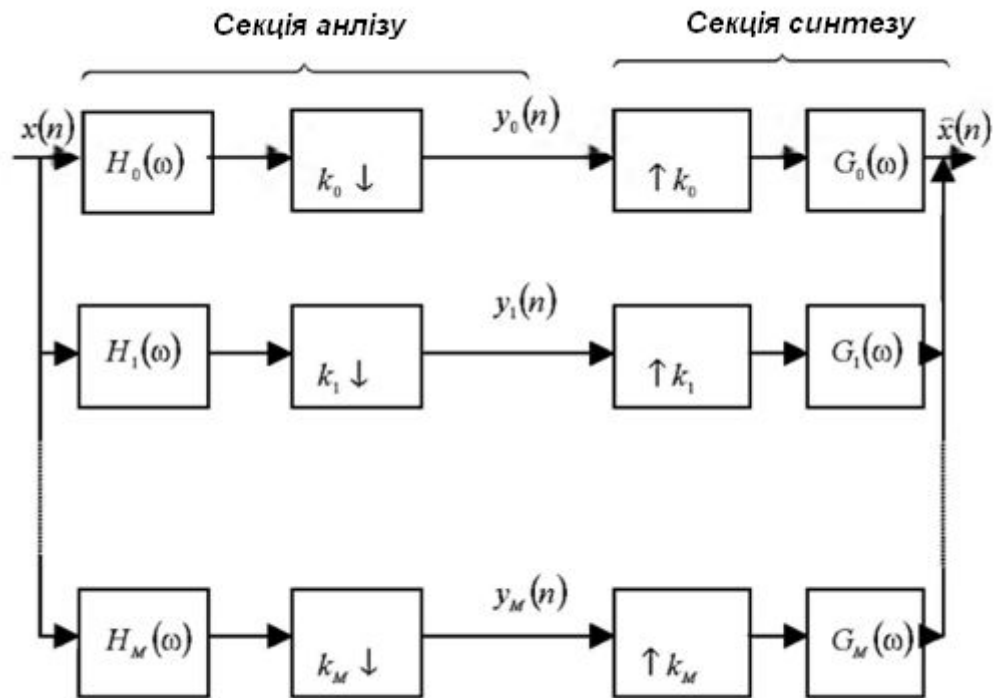


Рис. 1.5. Банк фільтрів аналізу-синтезу

Позначення на рисунку є стандартними для цифрової обробки сигналів.  $|H_1(\omega)|$  означає операцію кругової згортки вхідного сигналу довжиною  $N$  з імпульсною характеристикою КІХ-фільтра  $h(n)$  і Фур'є-перетворення результату:

$$H_i(\omega) = \sum_n h_i(n) e^{-j\omega n} \quad (1.8)$$

Блоки  $k_i \downarrow$  означають децимації в  $k_i$  раз, блоки  $\uparrow k_i$  - інтерполяцію в  $k_i$  раз. Децимація означає залишення лише кожного  $k_i$  відліку, інтерполяція

означає вставку  $k_i - 1$  нулів між цими відліками. Передбачається, що  $k_i$  цілі числа і ділять  $N$ .

Така система називається системою *A-C*. Секція аналізу системи *A-C* виконує лінійне перетворення над вхідним сигналом  $x(n)$  довжиною  $n$ . В результаті виходить  $M$  послідовностей  $y_i(n)$  довжиною  $N/k_i$ . Операції, що виконуються секцією синтезу, є зворотними операціями секції аналізу. В результаті виходить сигнал  $\hat{x}(n)$ . Точно так же будується система *A-C* і для багатовимірного сигналу.

Таким чином, коефіцієнти перетворення обчислюються через згортку і різні ділянки сигналу будуть оброблятися однаковим чином. Далі, формулювання проблеми в частотній області дозволяє легко розділити помилку реконструкції  $\varepsilon(n) = \hat{x}(n) - x(n)$  на дві частини: елайзінгову складову і складову, інваріантну до зрушення. Для цього запишемо вихідний сигнал схеми аналізу в частотній області:

$$Y_i(\omega) = \frac{1}{k} \sum_{j=0}^{k-1} H_i\left(\frac{\omega}{k} + \frac{2\pi j}{k}\right) X\left(\frac{\omega}{k} + \frac{2\pi j}{k}\right), \quad (1.9)$$

Тоді вихідний сигнал схеми *A-C*

$$\hat{X}(\omega) = \frac{1}{k} \sum_{i=0}^{M-1} Y_i(k\omega) G_i(\omega), \quad (1.10)$$

З урахуванням ефекту інтерполяції і децимації в частотній області. Об'єднуючи вирази (1.8) і (1.9), отримуємо

$$\hat{X}(\omega) = \frac{1}{k} \sum_{i=0}^{M-1} H_i(\omega) G_i(\omega) X(\omega) + \frac{1}{k} \sum_{j=1}^{k-1} X\left(\omega + \frac{2\pi j}{k}\right) \sum_{i=0}^{M-1} H_i\left(\omega + \frac{2\pi j}{k}\right) G_i(\omega), \quad (1.11)$$

Тут перший доданок відповідає відгуку лінійної часи незалежної системи, а друге відповідає елайзінгу системи.

Відносна середньоквадратична похибка апроксимації спектрів вихідного вектора у відповідному частотному інтервалі, в основному, обумовлена малою кількістю використовуваних проріджених даних, що відповідно до теорії Найквіста, призводить до накладання частот (елайзінгу), а також залежить від ступеня придушення спектральних компонент в смугах не пропускання і ширини перехідних смуг КІХ-фільтрів.

#### 1.4. Висновки до розділу 1

У розділі проаналізовано метод фільтрації сигналів на основі КІХ-фільтрів і субсмугове перетворення на основі використання банків КІХ-фільтрів, що дало змогу знайти напрями наукового дослідження.

## РОЗДІЛ 2

### ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1. Розрахунок вектора субсмугового перетворення відрізка мовного сигналу на основі КІХ-фільтрів

У цій частині роботи виконаємо стиснення мовного сигналу з використанням субсмугового перетворення методом, заснованим на використанні банків КІХ-фільтрів.

Алгоритм задається наступною послідовністю дій:

1. Створити і (або) завантажити звуковий файл формату \* .wav, що містить мовні дані з частотою дискретизації 8 кГц;
2. Розрахувати імпульсні характеристики для  $R$  - кількість частотних інтервалів;
3. Отримати вихідні послідовності фільтрів;
4. Розрахувати вектор субсмугового перетворення, здійснивши децимації отриманих вихідних послідовностей (секція аналізу рис. 1.5);
5. Виконати зворотне субполосмугове перетворення (синтез або інтерполяція), додавши нулі на місце видалених відліків;
6. Фільтрація;
7. Скласти всі відфільтровані відрізки і кожен відлік помножити на число дорівнює кількості фільтрів.

Для розрахунку імпульсної характеристики можна використовувати стандартну функцію MatLab `stemez`. Приклад розрахунку імпульсних характеристик смугового КІХ-фільтра з довжиною імпульсної характеристики 512:

```
L=512; % Довжина ІХФ
le=le/2;
c=0.005; % Перехідна смуга фільтра
```

```

v1=0.5; % Нижня нормована частота зрізу фільтра
v2=0.5625; % Верхня нормована частота зрізу фільтра
V=[0 (v1-c) v1 v2 (v2+c) 1]; % Завдання смуг затримки і пропускання
фільтра
h=cremez(L,V,'bandpass'); % Розрахунок характеристики фільтра
figure(1), freqz(h,1, L); % Побудова графіків АЧХ і ФЧХ фільтра

```

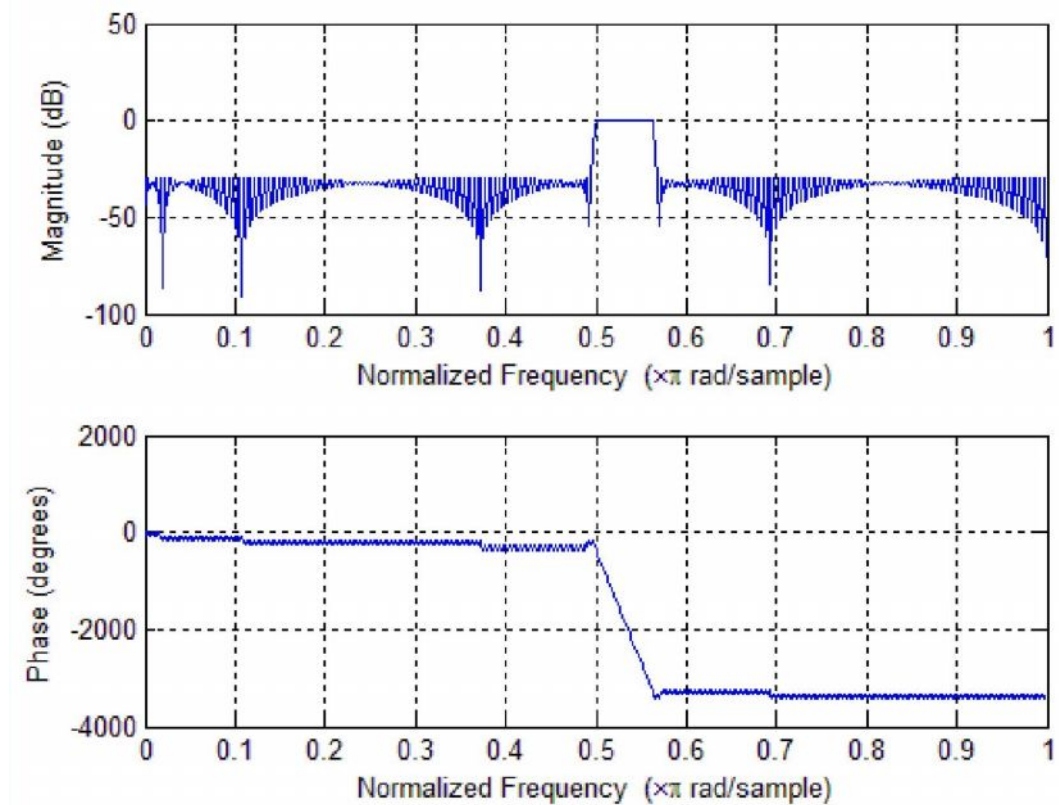


Рис. 2.1. АЧХ і ФЧХ смугового фільтра  
Фільтр (0.5000 - 0. 5625)

Для розрахунку ФНЧ в функції `cremez` використовується параметр `lowpass`, а для розрахунку ФВЧ - параметр `highpass`. наприклад:

```

h=cremez(L,[0 (v1) (v1+c) 1],'lowpass');
або h=cremez(L,[0 (v1-c) (v1) 1],'highpass').

```

Лістинг програми стиснення звукового сигналу наведено в додаток А.

Для ілюстрації результату наведено такі графіки:

1) Вихідний сигнал. Рис. 2.3 відповідає уявленню першого сигналу, відповідного звуку «ТРАМВАЙ».

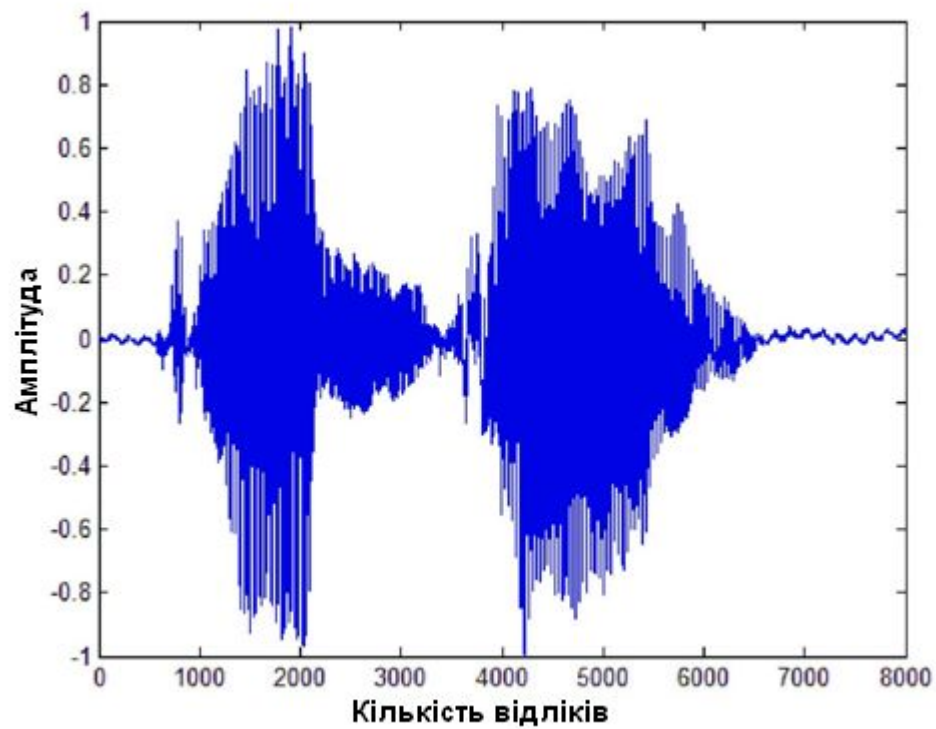


Рис. 2.2. Вихідний мовний сигнал, який відповідає звуку «ТРАМВАЙ»

2) Відновлений сигнал.

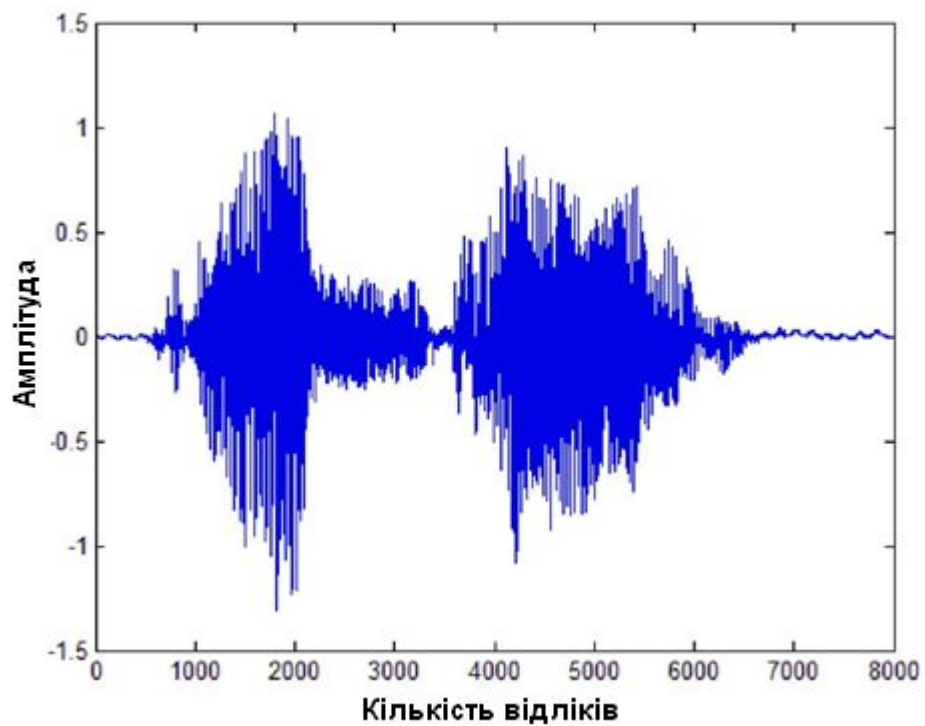


Рис. 2.3. Відновлений мовний сигнал 1 за першим методом



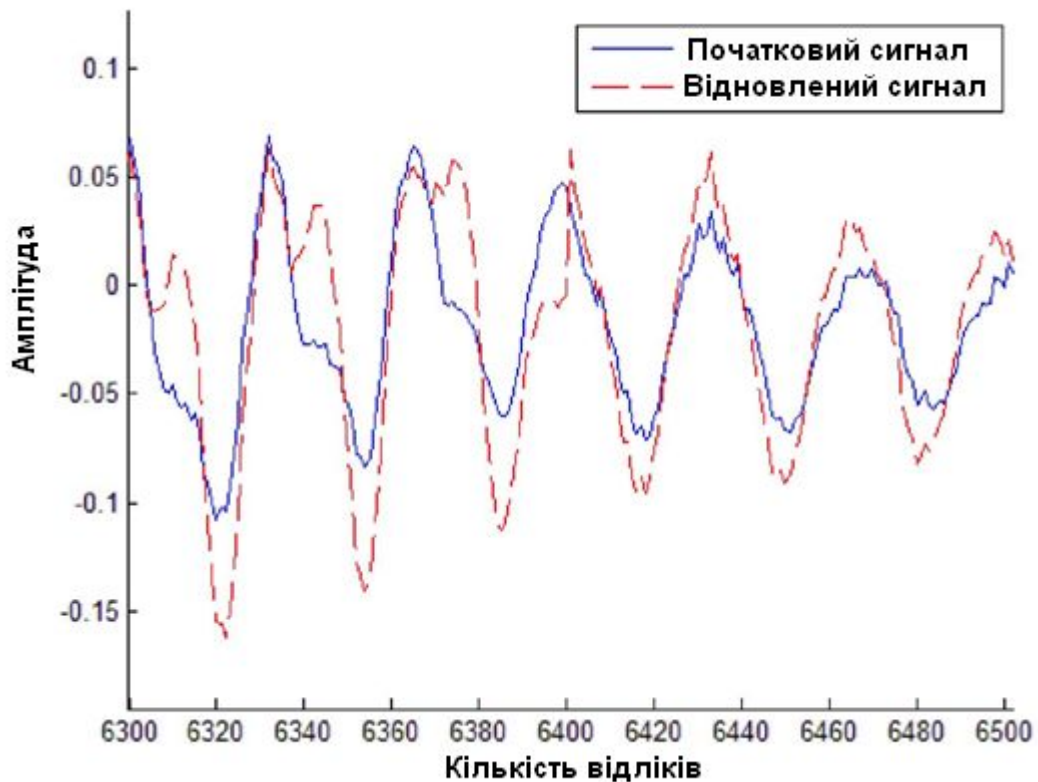


Рис. 2.4. Графік вихідного сигналу (суцільна лінія) і відновленого сигналу (пунктирна лінія)

На рис. 2.4 простежується відновлення форми вихідного сигналу з деяким зменшенням потужності і збільшення похибки (накопичення помилки). На рисунку 2.5 представлені спектри одного обраного відрізка відновленого та вихідного сигналів. Спектри побудували за допомогою програми GUI SPTool (Signal Processing Toolbox - засоби обробки сигналу). Вона розроблена на основі пакету розширення Signal Processing Toolbox і призначена для вирішення наступних завдань, пов'язаних з моделюванням цифрової фільтрації [13]:

- синтез і аналіз ЦФ;
- імпорт вхідного сигналу;
- моделювання цифрової фільтрації;
- аналіз сигналів у частотній та часовій областях;
- експорт даних з GUI SPTool.

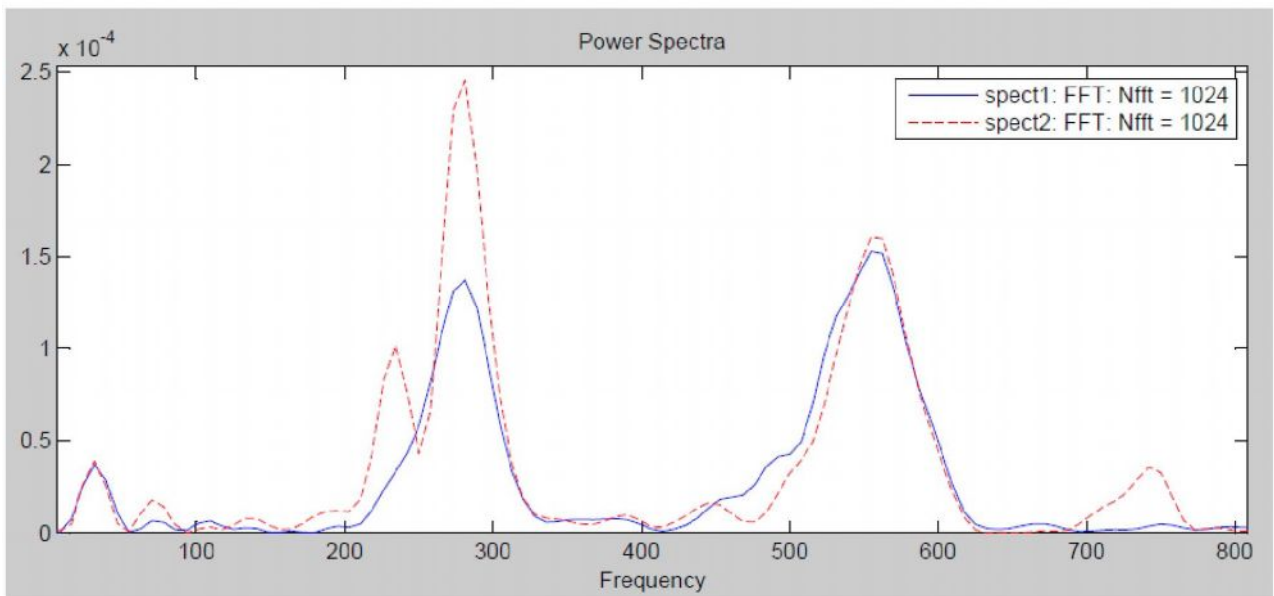


Рис. 2.5. Спектри відрізка вихідного (суцільна лінія) і відновленого сигналів (пунктирна лінія), відповідні звуку «Т» слова «ТРАМВАЙ»

## 2.2. Субсмугове перетворення із стисненням

Стиснення при субполосном перетворенні звукового сигналу може бути досягнуто за рахунок різного коефіцієнта децимації для різних вихідних послідовностей КІХ-фільтрів. Чим більше низькочастотний діапазон смуги пропускання КІХ-фільтра, тим в більшу кількість разів можна здійснити децимації. Значення коефіцієнта децимації визначається за формулою:

$$n = \frac{R}{k \cdot i}; k = \frac{1}{R}; i = 1, 2, \dots, R; \quad (2.1)$$

де  $n$  - коефіцієнт децимації;  $R$  - кількість частотних інтервалів. Результат децимації має такий вигляд (рис. 2.6):

de_y «16x16 double»																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	0.0050	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	8.2738e-04	0.0031	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2.9823e-04	0.0015	5.0500e-04	4.8045e-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	6.8131e-04	8.5593e-04	-2.1333e-04	-3.6637e-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	3.8719e-04	3.0099e-04	2.3708e-04	-5.7006e-04	-2.9999e-05	8.4345e-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1.5631e-04	3.5095e-04	-2.6307e-04	6.8705e-05	9.5097e-05	3.9513e-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1.6363e-04	2.4716e-04	4.6946e-04	7.2493e-04	2.5040e-04	3.1728e-04	6.8350e-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	8.9832e-05	1.1732e-04	2.9692e-04	-2.4614e-04	-2.6253e-04	-2.0562e-04	4.4940e-04	8.7044e-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	9.4854e-05	5.0215e-04	1.5459e-04	-3.7677e-04	1.0642e-04	4.9701e-04	3.5822e-04	-2.5688e-04	6.7767e-04	2.7774e-05	0	0	0	0	0	0	0
10	5.4445e-04	-5.4894e-04	5.8227e-05	2.8018e-04	-1.3978e-04	2.2879e-05	-4.2049e-04	4.8925e-04	-2.9532e-05	5.8369e-04	0	0	0	0	0	0	0
11	8.2092e-04	-2.8480e-04	-3.7704e-04	-2.2023e-04	2.7820e-04	-3.1059e-04	5.5502e-04	-2.6561e-05	6.7967e-04	-7.0740e-04	-3.0957e-04	7.2808e-05	0	0	0	0	0
12	6.8941e-04	-3.5535e-04	5.7092e-04	-3.8599e-04	9.5932e-05	-2.9672e-04	3.6590e-04	-3.7167e-04	-1.7212e-05	4.5670e-04	-4.7158e-04	3.1943e-04	1.8400e-04	0	0	0	0
13	8.5422e-04	-4.3131e-05	2.0486e-06	4.9071e-06	7.0456e-04	4.3677e-04	1.9622e-04	2.1685e-04	-1.8568e-04	-1.2191e-04	-2.2439e-05	-1.8765e-04	1.5332e-04	0	0	0	0
14	6.8898e-04	-5.6270e-04	1.2570e-04	1.4713e-04	-1.1299e-05	-1.4102e-04	2.6933e-05	-4.1934e-05	2.0434e-04	1.2347e-04	-5.5664e-04	2.8406e-04	1.1756e-04	-1.9459e-04	2.7310e-04	0	0
15	5.6393e-04	1.6379e-04	1.4918e-05	-3.7945e-04	4.2422e-05	-7.7541e-05	3.3490e-04	-1.0901e-04	-1.6545e-04	-5.7647e-04	1.4387e-04	-1.5967e-05	-6.2565e-05	5.3437e-05	1.4461e-06	5.4459e-04	0
16	4.1302e-04	-3.1986e-05	1.9257e-05	-9.5289e-05	1.1138e-04	-2.9200e-05	-1.0801e-04	-1.1677e-04	-5.6012e-05	1.1025e-04	-9.5636e-05	2.6192e-05	-1.9601e-04	3.1700e-05	-2.2130e-04	1.4901e-04	0
17																	

Рис. 2.6. Результат децимації при різних коефіцієнтах децимації

Алгоритм задається наступною послідовністю дій:

1. створити і (або) завантажити звуковий файл формату \* .wav, що містить мовні дані з частотою дискретизації 8 кГц;
2. розрахувати імпульсні характеристики для R - кількість частотних інтервалів;
3. отримати вихідні послідовності фільтрів;
4. здійснити децимації вихідних послідовностей вибравши різний коефіцієнт децимації;
5. розрахувати вектор субсмугового перетворення, здійснивши децимації отриманих вихідних послідовностей (секція аналізу рис. 1.5);
6. виконати зворотне субполосмугове перетворення (синтез або інтерполяція), додавши нулі на місце видалених відліків;
7. фільтрація;
8. скласти всі відфільтровані відрізки і кожен відлік помножити на число дорівнює кількості фільтрів.

На рисунках 2.7-2.8 наведені отримані результати. Графіки відновленого сигналу (рис. 2.6) і порівняльний графік вихідного сигналу з відновленим (рис. 2.7) (другий метод).

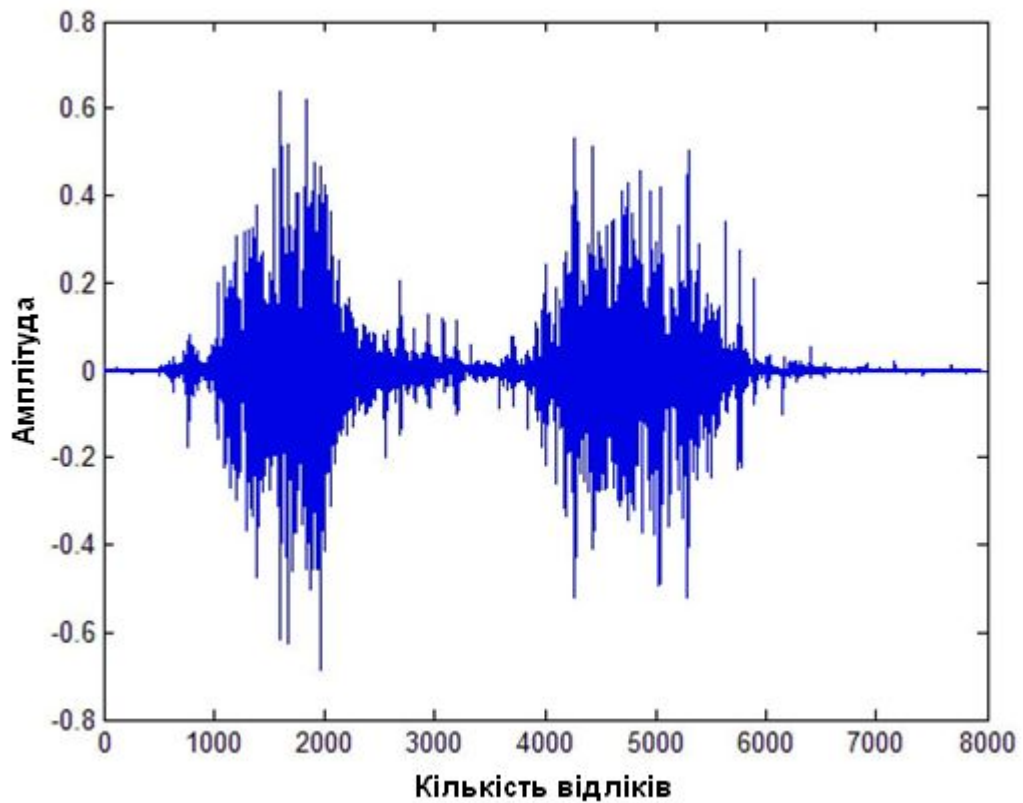


Рис. 2.7. Відновлений сигнал 1 при другому методі

На рис. 2.7 очевидно сильніше зменшення потужності і збільшення похибки відновлення вихідного сигналу (рис. 2.2) в порівнянні з відновленим сигналом за першим методом (рис. 2.3). Це відбивається на якості відтворення сигналу.

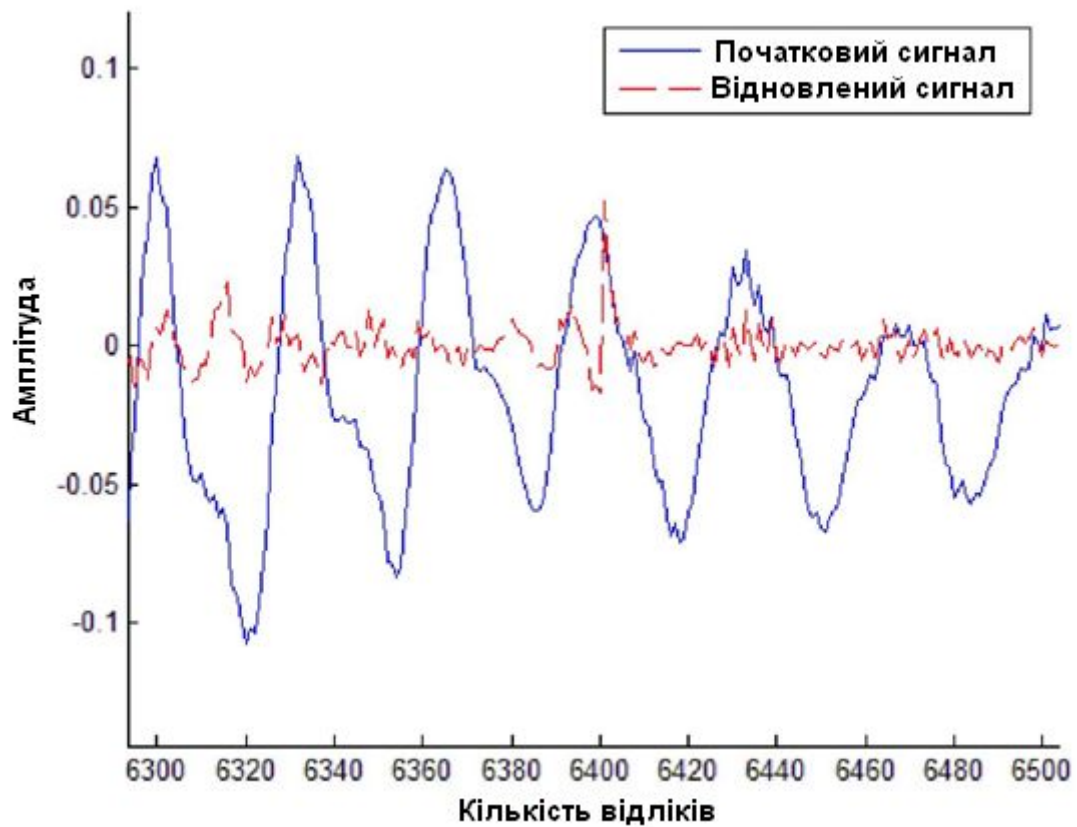


Рис. 2.8. Вихідний (суцільна лінія) і відновлений (пунктирна лінія) сигнали

На рисунку 2.8 можна бачити великі спотворення у відновленого сигналу. Похибка відновлення збільшилася.

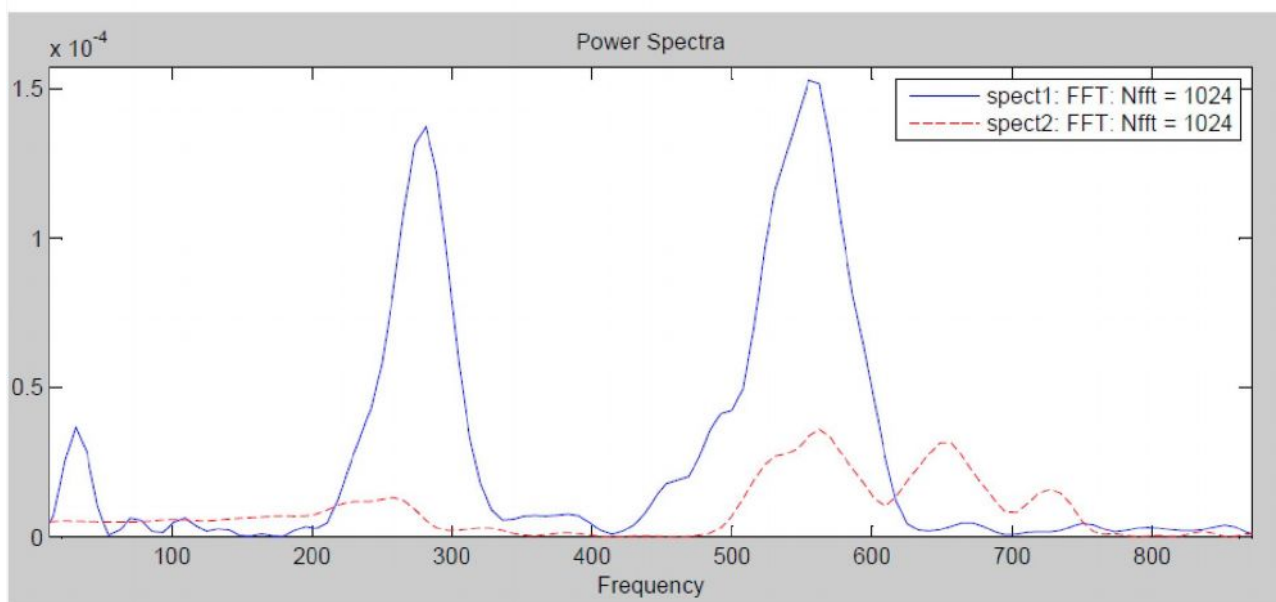


Рис. 2.9. Суцільна лінія - спектри відрізка відновленого та вихідного сигналів, пунктирна лінія - звук «Т» слова «ТРАМВАЙ»

На рис. 2.10 наведені графіки трьох сигналів (вихідний сигнал і сигнали, відновлені двома методами). На рис. 2.10 простежується відновлення форми вихідного сигналу з деяким зменшенням потужності і збільшення похибки (накопичення помилки).

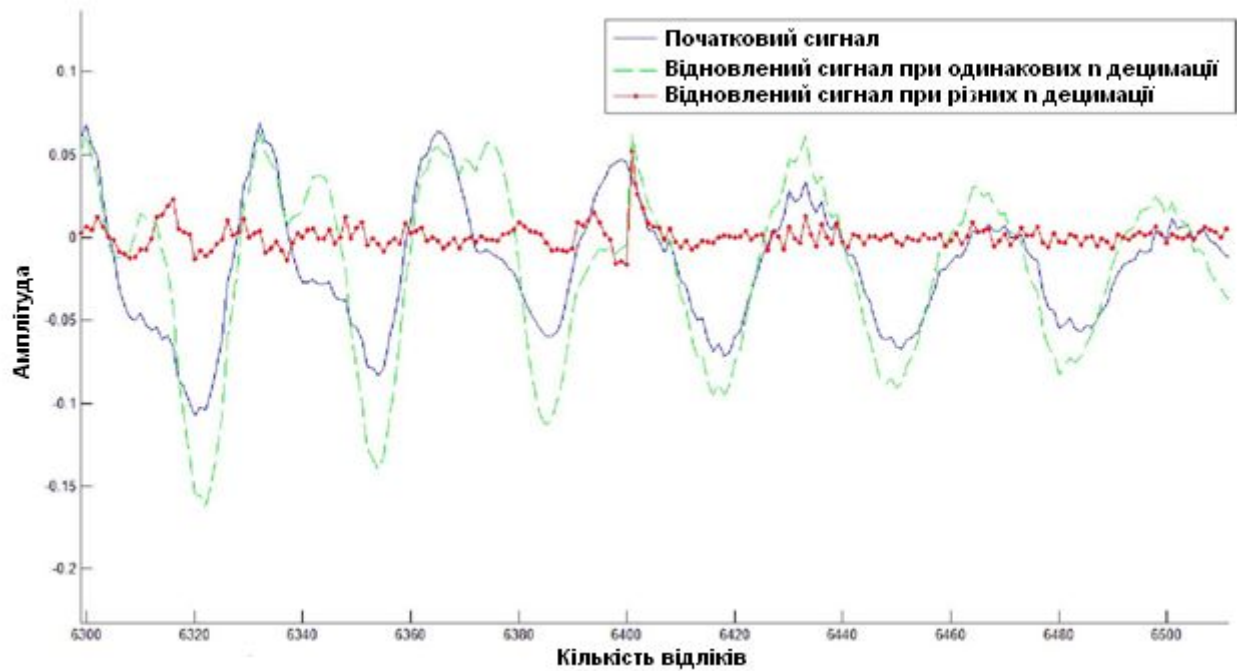


Рис. 2.10. Вихідний і відновлені сигнали

На рисунках 2.11-2.12 представлені осцилограми і спектри відрізка вихідного і відновлених сигналів, звуку «Т» слова «ТРАМВАЙ».



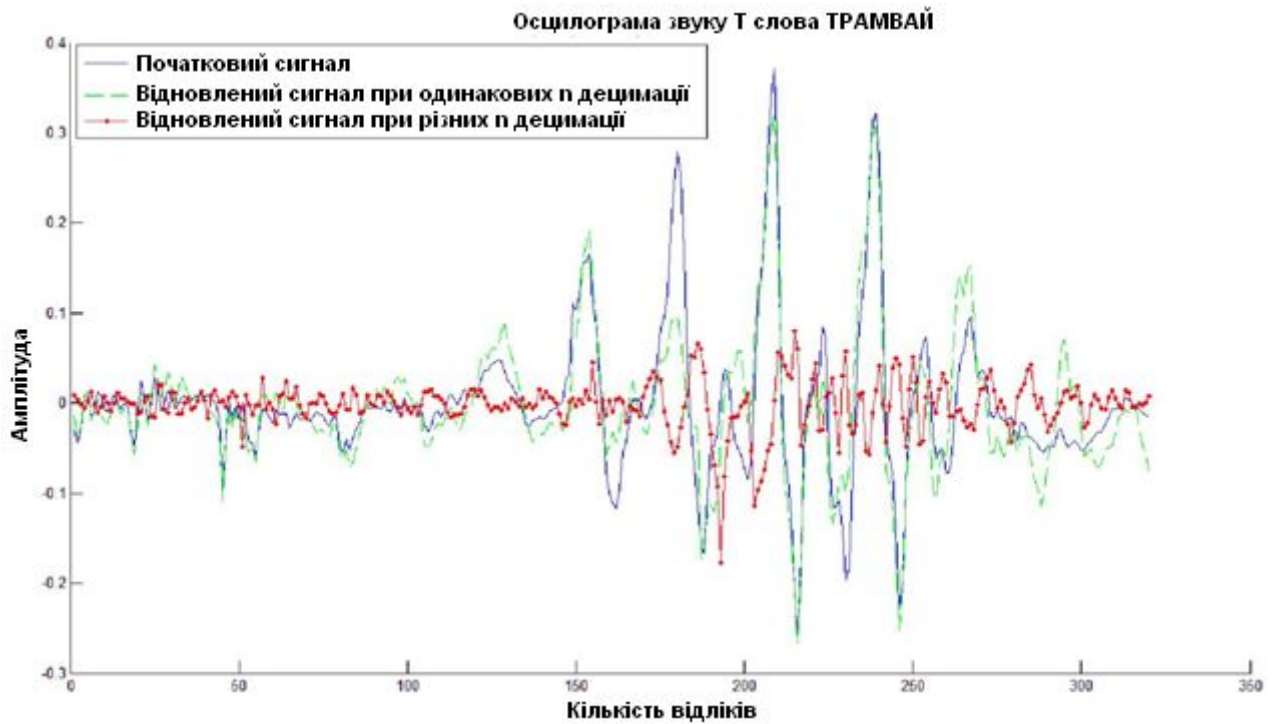


Рис. 2.11. Суцільна лінія - осцилограми відрізка відновленого та вихідного сигналів, пунктирна лінія - звуку «Т» слова «ТРАМВАЙ»

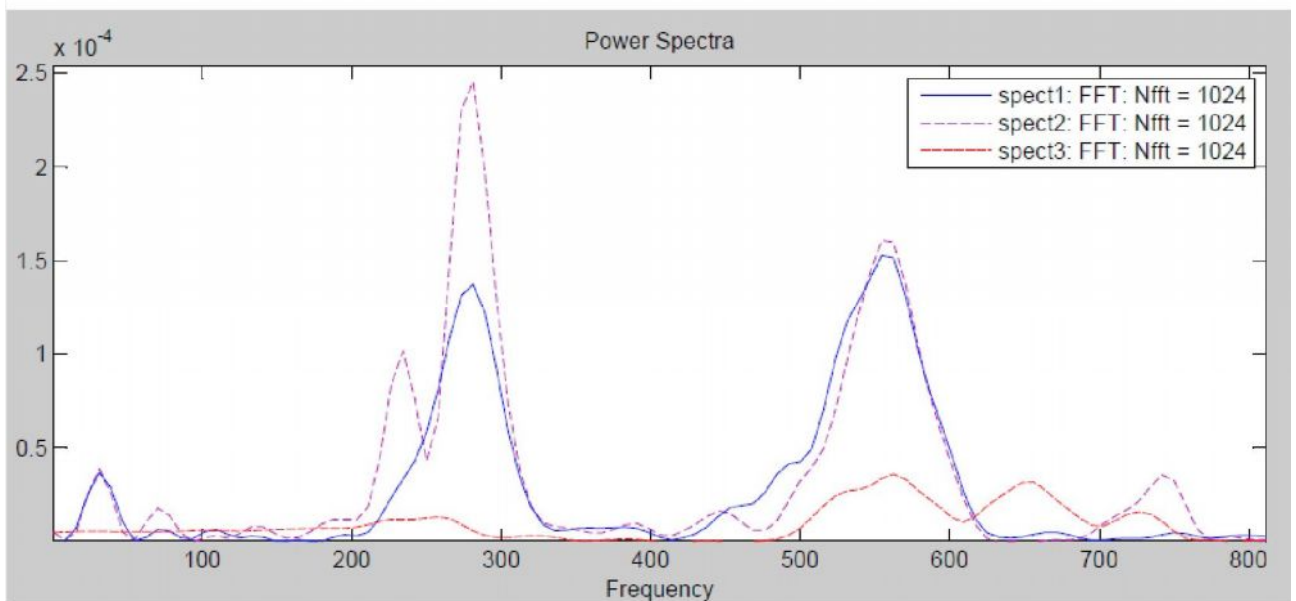


Рис. 2.12. Суцільна лінія - спектри відрізка вихідного і відновлених сигналів, пунктирні лінії - звуку «Т» слова «ТРАМВАЙ»:

Спектр 1 - Спектр вихідного сигналу;

Спектр 2 - Спектр відновленого сигналу за першим методом;

Спектр 3 - Спектр відновленого сигналу по другому методу.

### 2.3. Висновки до розділу 2

У розділі розглянуто субсмугове кодування (перетворення). Він класифікується в кодифікатори форми хвилі (кодування форми сигналу), які намагаються зробити сигнал якомога ближче до оригіналу.

Практичне застосування цього методу стиснення дозволить прискорити процес обміну інформацією (мова) в суспільстві, а також зменшити обсяг пам'яті, необхідної для зберігання мовних даних.



### РОЗДІ 3 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

#### 3.1. Частотний аналіз відновлених звукових сигналів

Нижче наведені результати, отримані при дослідженні різних мовних сигналів при їх обробці двома методами.

Вихідні дані: звукові файли формату \*.wav, що містять мовні дані з частотою дискретизації 8 кГц і розширення 16 біт.

Результати дослідження другого сигналу «ЧЕРЕПАХА».

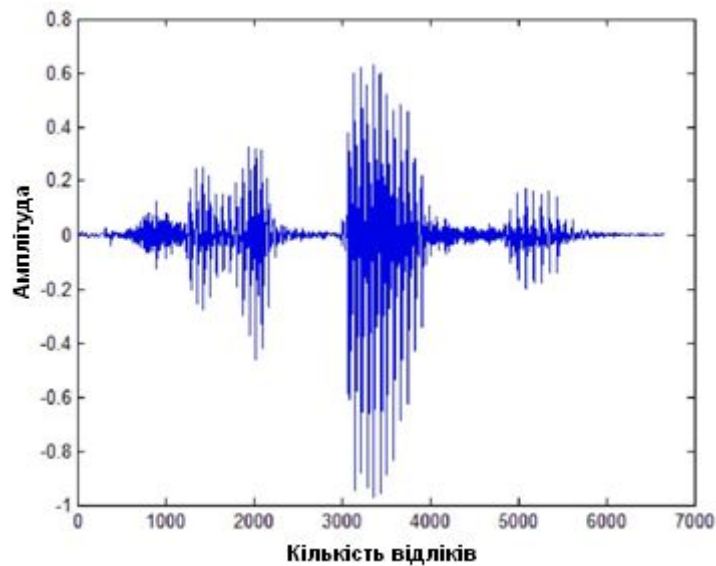


Рис. 3.1. Вихідний сигнал, відповідний звуку «ЧЕРЕПАХА»

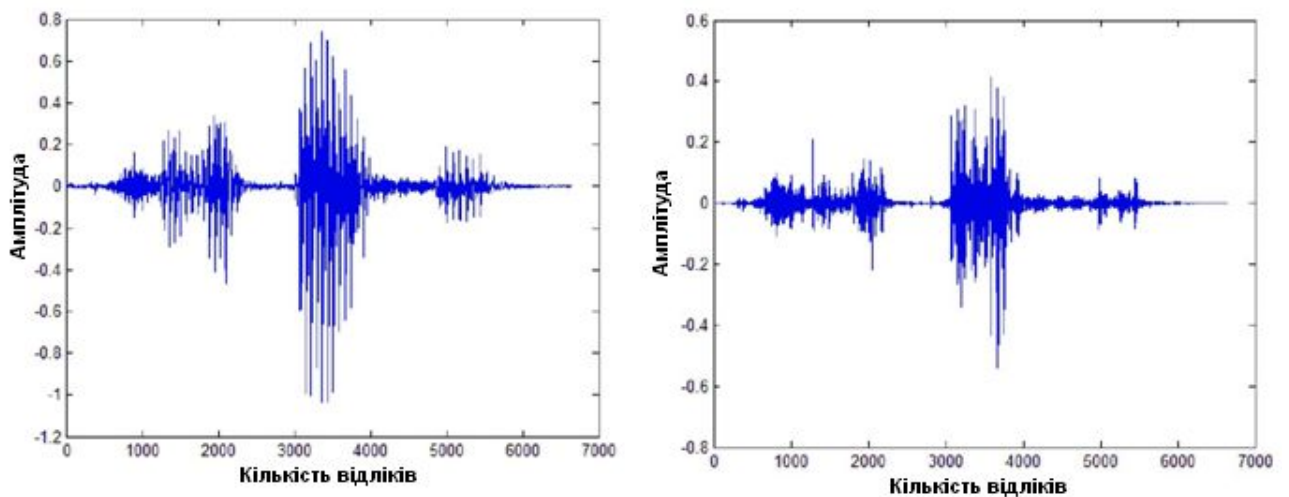


Рис. 3.2. Відновлені сигнали а) метод - 1; б) метод - 2

На рис. 3.3. прослідковується відновлення форми вихідного сигналу з збільшення похибки та зменшенням потужності і.

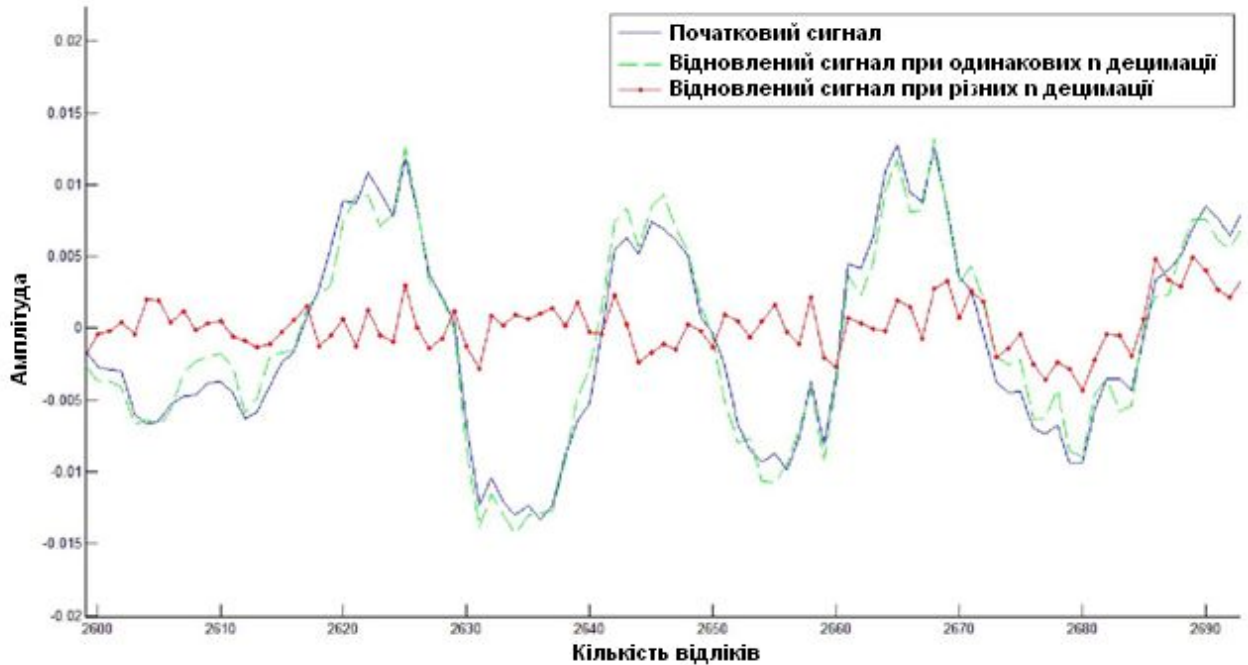


Рис. 3.3. Вихідний (суцільна лінія) і відновлені сигнали (пунктирна лінія і лінія з точками)

На рис. 3.4 представлені спектри вихідного і відновлених сигналів, відповідні звуку «Ч» слова «ЧЕРЕПАХА».

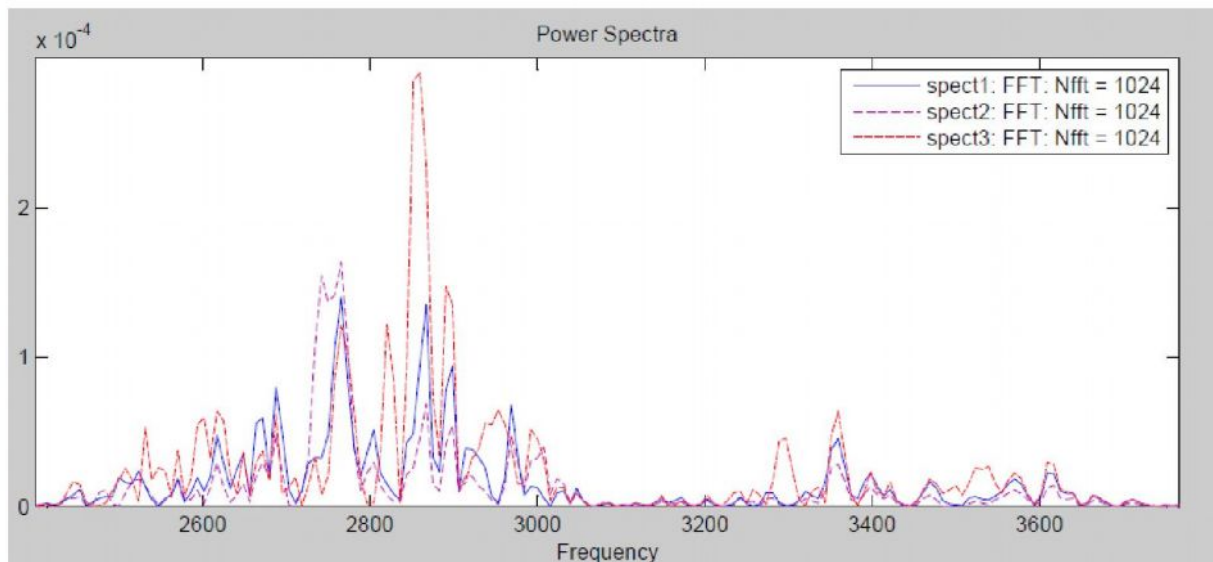


Рис. 3.4. Суцільна лінія - спектр відрізка вихідного та пунктирні лінії - відновлених сигналів, звуку «Ч» слова «ЧЕРЕПАХА»:

Спектр 1 - Спектр вихідного сигналу;

Спектр 2 - Спектр відновленого сигналу за першим методом;

Спектр 3 - Спектр відновленого сигналу за другим методом

Результати дослідження третього сигналу «ПОРУЧ».

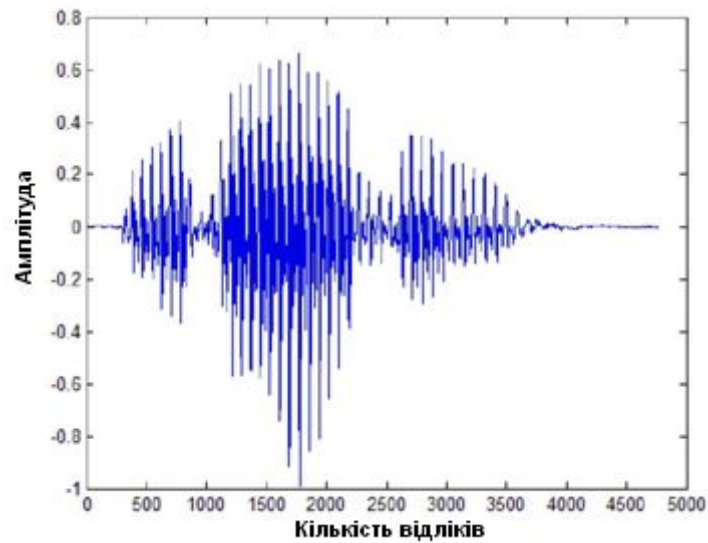


Рис. 3.5. Вихідний сигнал, відповідний звуку «ПОРУЧ»

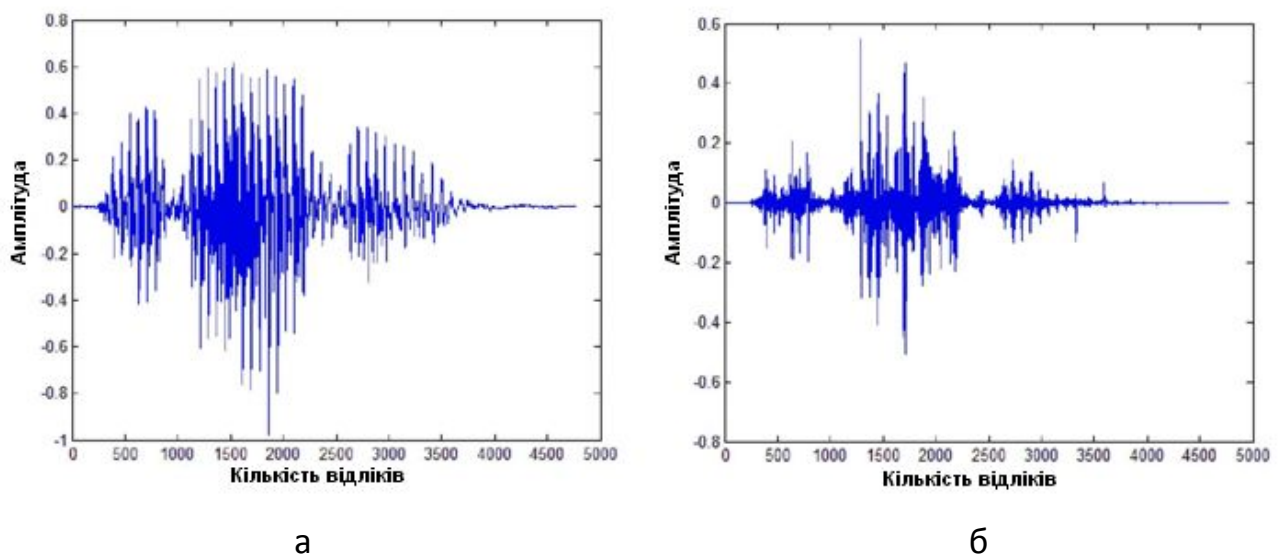


Рис. 3.6. Відновлені стислі сигнали а) за першим методом; б) за другим методом

Детальний уявлення вихідного сигналу з відновленими сигналами (рисунки 2.17-2.18). На рисунку 2.17 простежується відновлення форми вихідного сигналу з деяким зменшенням потужності і збільшення похибки. На рисунку 2.18 представлені типові спектри типові спектри вихідного і відновлених сигналів, відповідні звуку «О» слова «ПОРУЧ».

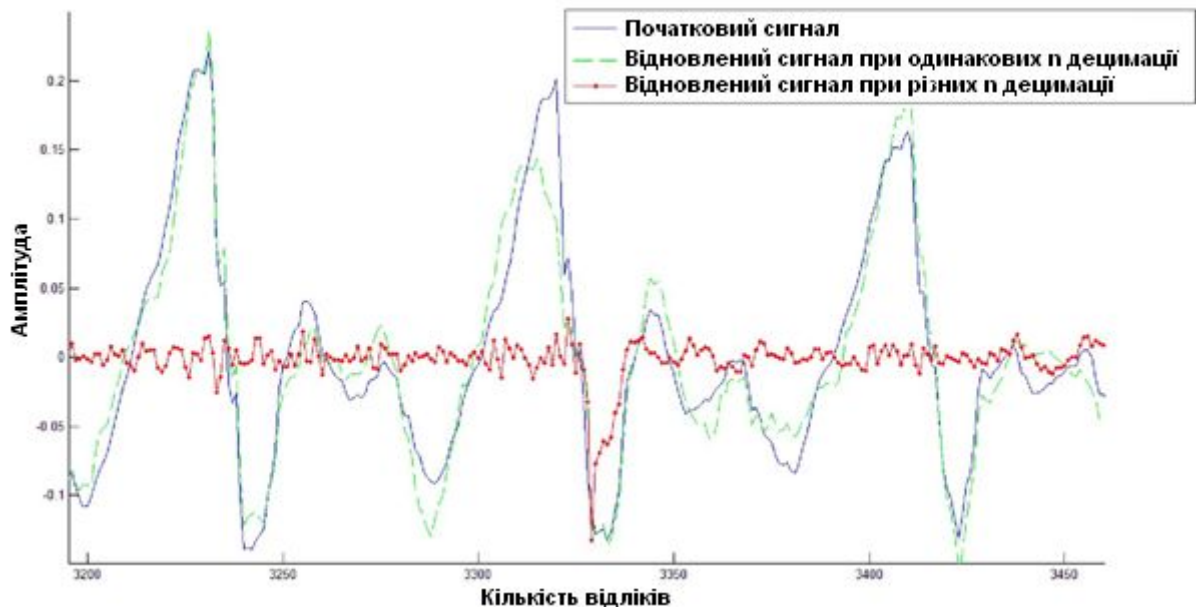


Рис. 3.7. Вихідний (суцільна лінія) і відновлені сигнали (пунктирна лінія і лінія з точками)

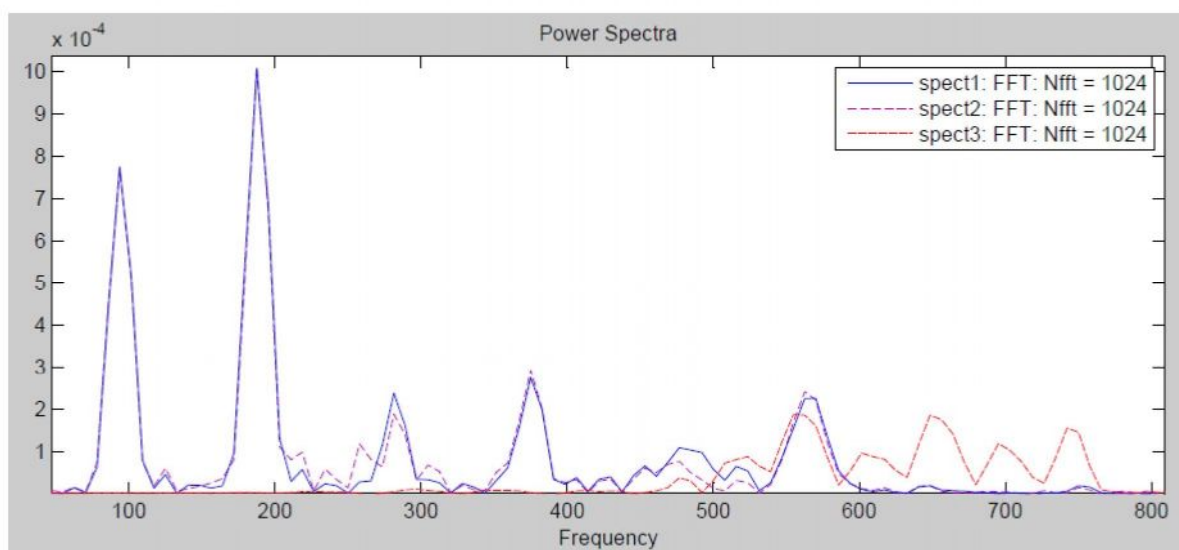


Рис. 3.8. Спектри відрізка вихідного (суцільна лінія) і відновлених сигналів (пунктирні лінії), відповідні звуку «Ч» слова «ЧЕРЕПАХА»: Спектр 1 - Спектр

вихідного сигналу; Спектр 2 - Спектр відновленого сигналу за першим методом; Спектр 3 - Спектр відновленого сигналу по другому методу

### 3.2 Оцінка похибки відновлення, коефіцієнта стиснення і якості відтворення сигналів

Оцінка ефективності роботи алгоритму подібного роду досить складна. Один з підходів до вирішення даного завдання полягає в обчисленні похибки відновлення РС і коефіцієнта стиснення.

#### 1. Похибка відновлення відрізків мовного сигналу.

Для обчислення похибки відновлення можна скористатися формулою для обчислення середньоквадратичної похибки:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \hat{x}_i)^2}{\sum x_i^2}}, \quad (3.1)$$

де  $x(n)$  - вихідний сигнал,  $\hat{x}(n)$  - відновлений сигнал.

#### 2. Коефіцієнт стиснення.

Коефіцієнт стиснення – це характеристика алгоритму стиснення. Характеристика алгоритму визначається як відношення обсягу вихідних незжатих даних до обсягу стислих [11-12].

$$K_{сж} = V_{\Pi} / V_{ИС}, \quad (3.2)$$

$$K_{сж} = \frac{8000}{256 \cdot 31} = \frac{8000}{7936} = 1,0081.$$

При цьому коефіцієнті стиснення, можна сказати, що стиснення не відбувається.

#### 3. Оцінка якості відтворення.

Стиснення аудіосигналів з втратами ґрунтується повністю на характеристиках людського слухання [16]. Тому щоб оцінити якості стислих сигналів необхідно визначити якість відтворення на слух.

У таблиці 3.1 наведені оцінки якості відтворення, досліджених сигналів на слух декілька людей. У цій таблиці сигнали 1-5, сигнали, використані під час проведення експерименту.

Таблиця 3.1

### Оцінки відтворення на слух людей

Сигнали	Оцінки відтворення на слух (п'ятибальна шкала)										Середня
1	4	5	5	4	5	4	5	4	5	4	4,5
2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
3	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	4,8
4	4	4	3	4	5	5	4	3	4	4	4,0
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Отримані оцінки роботи алгоритму стиснення звукових сигналів на основі використання банків КІХ-фільтрів при однакових частотних інтервалах децимації внесені в таблицю 3.2, де:

Сигнали 1-5 - використані сигнали в експерименті;

$V_1$  - кількість звітів в вихідному сигналі;

$V_2$  - кількість звітів після субсмугового перетворення (до відновлення);

$\epsilon$  - похибка відновлення (середньоквадратичне похибка);

$K_{СЖ}$  - коефіцієнт стиснення сигналу;

ОК - оцінка якості відтворення звуку (п'ятибальна шкала).

Таблиця 3.2

### Оцінка ефективності роботи алгоритму стиснення

Сигнал	$V_1$	$V_2$	$\epsilon$	$K_{СЖ}$	Середня ОК
1	8000	7936	0,3423	1,0081	4,5
2	6656	6656	0,3574	1	5

3	4780	4608	0,4021	1,0373	4,8
4	8187	7936	0,4771	1,0316	4,0
5	10703	10496	0,3467	1,0197	5

За отриманими результатами можна зробити висновок, що за першим методом стиск не відбуватися або відбуватися, видаляючи недоречну (нерелевантні) інформацію (мова). Всі сигнали сприймаються дуже добре на слух.

Для другого методу отримані наступні результати:

1. Вирахували похибка відновлення:

$$\varepsilon = 0,8874.$$

2. Коефіцієнт стиснення дорівнює:

$$K_{сж} = \frac{8000}{143 \cdot 31} = \frac{8000}{4433} = 1,8046.$$

3. Оцінка якості відтворення.

У таблиці 3.3 наведені оцінки якості відтворення, досліджених сигналів на слух кілька людей.

Отримані результати оцінки роботи алгоритму стиснення звукових сигналів на основі використання банків КИХ-фільтрів при різних коефіцієнтах децимації внесені в таблиці 3.3 і 3.4.

Таблиця 3.3

### Оцінки відтворення на слух людей

Сигнали	Оцінки відтворення на слух (п'ятибальна шкала)										Середня
1	2	3	3	2	2	3	2	3	2	2	2,4
2	4	3	4	4	3	4	4	4	4	3	3,7
3	2	2	3	1	3	2	2	3	1	2	2,1

4	1	2	1	1	2	1	2	2	1	1	1,4
5	2	3	2	2	3	1	2	1	3	2	2,1

Таблиця 3.4

### Оцінка ефективності роботи алгоритму стиснення

Сигнал	$V_i$	$V_i$	$\epsilon$	КСЖ	Середня ОК
1	8000	4433	0,8874	1,8046	2,4
2	6656	3718	0,8732	1,7902	3,7
3	4780	2574	0,9014	1,8570	2,1
4	8187	4433	0,9322	1,8468	1,4
5	10703	5863	0,9068	1,8255	2,1

За отриманими результатами можна зробити висновок, що за другим методом стиснення відбуватися так як коефіцієнт стиснення і похибка відновлення стислих сигналів великі. Відновлені сигнали сприймаються на слух з сприймаються, але терпимими помилками. У таблиці наведена зведена таблиця результатів, отриманих двома методами.

Таблиця 3.5

### Зведена таблиця для двох методів

Сигнал	$V_i$	$V_i$	$\epsilon$	КСЖ	Середня ОК
Перший метод					
1	8000	7936	0,3423	1,0081	4,5
2	6656	6656	0,3574	1	5
3	4780	4608	0,4021	1,0373	4,8
4	8187	7936	0,4771	1,0316	4,0
5	10703	10496	0,3467	1,0197	5
Другий метод					
1	8000	4433	0,8874	1,8046	2,4
2	6656	3718	0,8732	1,7902	3,7
3	4780	2574	0,9014	1,8570	2,1
4	8187	4433	0,9322	1,8468	1,4
5	10703	5863	0,9068	1,8255	2,1

### 3.4. Висновки до розділу 3



У розділі виконали стиснення мовного сигналу з урахуванням два аспекти децимації вихідних послідовностей КИХ-фільтрів:

У першому випадку береться до уваги стиснення сигналу з однаковою кількістю частотних інтервалів  $R$  при децимації. Якість відтворення сигналу зберігається. Отримали коефіцієнт стиснення приблизний 1. Можна і сказати, що стиснення не відбувається.

У другому випадку розглядається стиснення сигналу з різною кількістю частотних інтервалів  $R$  при децимації (враховується коефіцієнт децимації). Похибка відновлення збільшується майже в 2 рази, ніж в першому випадку. Коефіцієнт стиснення досягає значення понад 1,5.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 4.1. Охорона праці

Під час роботи з радіотехнічними системами враховано всі небезпечні фактори ризику (перевищений рівень шуму та вібрацій, електротравматизм, негативний вплив освітлення та інші), які би негативно впливали на рівень безпеки обслуговуючого персоналу в процесі експлуатації системи.

Оскільки система, живиться безпосередньо від електромережі, тому необхідно максимізувати рівень електробезпеки обслуговуючого персоналу шляхом адекватного дотримання правил роботи з електроприладами, зокрема системою, які прописані в стандарті ГОСТ 12.1.030-81 «ССБТ. Електробезпека. Захисне заземлення. Занулення» [38].

Із врахуванням вище сформульованого припущення, встановлена необхідність розроблення рекомендації по питанням охорони праці при роботі з радіотехнічною системою шляхом аналізу негативного впливу електричного струму на обслуговуючий персонал при роботі із системою, способів нормування та захисту від його дії.

Внаслідок дії електричного струму на організм обслуговуючого персоналу під час експлуатації блоку може виникнути загальна (електричний удар) або місцева електротравма (опіки, електричні знаки, електрометалізація шкіри, механічні пошкодження). Розрізняють три ступені впливу струму при проходженні через організм людини (змінний струм) [38]:

- відчутний струм – початок болісних відчуттів (до 0-1,5 мА);
- невідпускний струм – судоми і біль, важке дихання (10-15 мА);
- фібриляційний струм – фібриляція серця при тривалості діє струму 2-3с, параліч дихання (90-100 мА).

На рисунку 4.1 зображено основні фактори, які впливають на організм людини при ураженні електричним струмом.



Рис. 4.1. Фактори впливу електричного струму на людину

Правильне визначення необхідних засобів та заходів обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом необхідно враховувати гранично допустимі значення напруг дотику та струмів, що проходять через тіло людини по шляху "рука - рука" чи "рука - ноги" (таблиця 4.1) (регламентується ГОСТом 12.1.038-82).

Таблиця 4.1

**Гранично допустимі значення напруги дотику та сили струму,  
що проходить через тіло людини**

Вид струму	Нормоване значення	Тривалість струму, сек					
		0,1	0,2	0,5	0,7	1	Більше 1
Змінний, 50 Гц	<b>Напруги дотику, В (не більше)</b>	500	250	100	70	50	36
	<b>Сила струму, мА (не більше)</b>	500	250	100	70	50	6

Основне завдання електробезпеки - мінімізувати можливість негативного впливу електричного струму на людину. Досягти цієї мети можна за допомогою таких заходів і засобів: 1) безпечною і надійною конструкцією елементів системи; 2) організаційними та технічними заходами щодо безпечної експлуатації системи та використання електричної енергії; 3) технічними засобами захисту.

У даному випадку це досягнуто шляхом конструктивного виконання складових системи класу I, який відповідає вимогам технічних умов і стандарту ГОСТ 12.1.030-81. Згідно класу I складові системи мають робочу ізоляцію і виконаний таким чином, що підключити його до електричної мережі можна лише після під'єднання корпусу до заземлювача (нульового захисного провідника), а при від'єднанні від мережі - корпус відключається від заземлювача (нульового захисного провідника) в останню чергу.

Стан ізоляції струмопровідних частин відповідає правилам використання системи. Цими правилами передбачене періодичне випробування ізоляції 2 рази на рік у приміщеннях зі складними умовами, підвищеною вологістю і 1 раз на рік у приміщеннях з нормальним середовищем. Ізоляція створює великий опір, який перешкоджає протіканню через неї струму. Опір ізоляції складових системи становить не меншим 0,5 МОм (згідно вимог ГОСТ 12.1.030-81). Якщо опір ізоляції знижується на 50% від початкового, мережу або ізоляцію необхідно замінити.

При роботі в приміщеннях без підвищеної небезпеки напруга складових системи повинна бути не більше 220 В. При роботі в приміщеннях з підвищеною небезпекою і за межами приміщень напруга складових системи повинна бути не більше 36 В. В особливих умовах дозволяється використовувати блок з напругою до 220 В, але при наявності захисного відключення або надійного заземлення корпусу з використанням захисних засобів (діелектричні рукавички, килимки, калоші).

Захисне заземлення - навмисне електричне з'єднання із землею металевих струмопровідних неструмоведучих частин, на яких може з'явитися напруга. Заземлення - це сукупність заземлювача і заземлювальних провідників. Заземлювачі можуть бути штучні (створені спеціально для заземлення блоку) і природні. Для штучних заземлювачів застосовують вертикальні і горизонтальні електроди. Вертикальні - зі сталевих прутів діаметром 10-12мм, кутової сталі розміром 40x40 мм або сталевих труб діаметром 30-50мм, довжиною 2,5-3 м. Вертикальні електроди з'єднують сталюю штабою розміром 4x12 мм або круглим дротом діаметром не менше 6 мм. Опір заземлюючого пристрою не

повинен перевищувати 4-10 Ом (перевіряється щорічно).

Таким чином врахувавши вище сформульовані рекомендації по питанням охорони праці при експлуатації радіотехнічної системи буде забезпечено небезпечні умови праці обслуговуючого персоналу.

#### 4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Підприємство з випуску радіотехнічних систем (ДРС) є пожежонебезпечним, тому актуальним є забезпечення протипожежного захисту робітників та службовців, які на них працюють. Заходи протипожежного захисту здійснюються з дотриманням вимог глави 13 Кодексу цивільного захисту України від 02.10.2012 р. №5403-VI.

Всі заходи організаційно-технічного характеру протипожежного захисту на виробництві на об'єкті можна підрозділити на організаційні, технічні, режимні та експлуатаційні [36].

Забезпечення пожежної безпеки є складовою частиною виробничої або іншої діяльності посадових осіб, працівників підприємств та підприємців. Це повинно бути відображено у трудових договорах (контрактах) та статутах підприємств.

Керівник підприємства з випуску ДРС повинен визначити обов'язки посадових осіб щодо забезпечення пожежної безпеки, призначити відповідальних за пожежну безпеку окремих будівель, споруд, приміщень, діляниць, технологічного та інженерного устаткування, а також за утримання і експлуатацію технічних засобів протипожежного захисту. Обов'язки щодо забезпечення пожежної безпеки, утримання та експлуатації засобів протипожежного захисту мають бути відображені у відповідних посадових документах (функціональних обов'язках, інструкціях, положеннях тощо).

На кожному підприємстві з урахуванням його пожежної небезпеки наказом (інструкцією) повинен бути встановлений відповідний протипожежний режим, в тому числі визначені:

- можливість (місце) паління, застосування відкритого вогню та

побутових нагрівальних приладів;

- порядок проведення тимчасових пожежо небезпечних (в тому числі зварювальних) робіт;
- правила проїзду та стоянки транспортних засобів;
- місця для зберігання і допустима кількість сировини, напівфабрикатів та готової продукції, які можуть одночасно знаходитися у виробничих приміщеннях і на території (у місцях зберігання);
- порядок прибирання горючого пилу та відходів, зберігання промасленого спецодягу і шмаття, очищення повітроводів вентиляційних систем від горючих відкладень;
- порядок відключення від мережі електрообладнання у разі пожежі;
- порядок огляду і зачинення приміщень після закінчення роботи;
- порядок проходження посадовими особами навчання та перевірки знань з пожежної безпеки, а також проведення з працівниками протипожежних інструктажів та занять з пожежно-технічного мінімуму з призначенням відповідальних за їх проведення;
- порядок організації експлуатації і обслуговування наявних технічних засобів протипожежного захисту (протипожежного водопроводу, насосних станцій, вогнегасників тощо);
- дії працівників у разі виявлення пожежі.

Для об'єктів з перебуванням людей вночі інструкції мають передбачати два варіанти дій відповідно у денний та нічний час.

Усі працівники при прийнятті на роботу і за місцем здійснення професійної діяльності повинні проходити інструктаж з питань пожежної безпеки (вступний, первинний, повторний на робочому місці, позаплановий та цільовий). Посадові особи до початку виконання своїх обов'язків і періодично один раз на 3 роки мають проходити навчання і перевірку знань з питань пожежної безпеки.

Отже, організаційні заходи пожежної безпеки передбачають: організацію пожежної охорони на об'єкті, проведення навчань з питань пожежної безпеки (включаючи інструктажі та пожежно-технічні мінімуми), застосування наочних

засобів протипожежної пропаганди та агітації, проведення перевірок, оглядів стану пожежної безпеки приміщень, будівель, об'єкта в цілому та ін.

До технічних заходів належать: суворе дотримання правил і норм, визначених чинними нормативними документами при реконструкції приміщень, будівель та об'єктів, технічному переоснащенні виробництва, експлуатації чи можливого переобладнанні електромереж, опалення, вентиляції, освітлення і т. п.

Заходи режимного характеру передбачають заборону куріння та застосування відкритого вогню в недозволених місцях, недопущення появи сторонніх осіб у вибухонебезпечних приміщеннях чи об'єктах, регламентацію пожежної безпеки при проведенні вогневих робіт тощо.

Експлуатаційні заходи охоплюють своєчасне проведення профілактичних оглядів, випробувань, ремонтів технологічного та допоміжного устаткування, а також інженерного господарства (електромереж, електроустановок, опалення, вентиляції).

#### 4.3 Висновки до розділу 4

У підрозділі з охорони праці розроблено рекомендації по питанням охорони праці при роботі з радіотехнічною системою шляхом аналізу негативного впливу електричного струму на обслуговуючий персонал при роботі із системою, способів нормування та захисту від його дії.

У підрозділі з безпеки в надзвичайних ситуаціях проаналізовано заходи організаційно-технічного характеру протипожежного захисту на виробництві радіотехнічної системи.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Завжди можливо передавати інформацію на швидкості меншій, ніж здатність каналу з відносно маленькою помилкою, навіть в присутності шуму. Цього домагаються за допомогою кодування інформації, яка поставляє однаковий формат для різних типів сигналів.

Одним із способів ефективного кодування мовних сигналів є субсмугове кодування (субсмугове перетворення). Він класифікується в кодифікатори форми хвилі (кодування форми сигналу), які намагаються зробити сигнал якомога ближче до оригіналу. Основний інтерес в застосуванні до цифрової телефонії.

Практичне застосування цього методу стиснення дозволить прискорити процес обміну інформацією (мова) в суспільстві, а також зменшити обсяг пам'яті, необхідної для зберігання речових даних.

При виконанні даної випускної кваліфікаційної роботи було досліджено стиснення звукових сигналів субсмуговим аналізом, заснованим на використанні КІХ-фільтрів. Недоліком такого підходу є наявність ефекту елайзінга, тобто накладення частот, і як наслідок, погіршення якості відтворюється мови.

Структура роботи складається з вступу з актуальністю обраної теми, вказані мета і завдання дослідження; чотирьох розділів, кожен з яких послідовно відображає логічний аналіз нормативного, практичного та наукового матеріалу. Перша глава присвячена загальним відомостям про алгоритмах і методах стиснення звукових сигналів. Другий розділ присвячено дослідженню обраного субсмугового методу стиснення звукових сигналів, пишеться алгоритми і наведені результати роботи алгоритмів. Третя глава присвячена аналізу результатів роботи алгоритмів стиснення звукових сигналів. У четвертому розділі дається економічна оцінка результатів дослідження (тривалість дослідних робіт склала 53 днів, кошторису витрат на дослідження - 87045 рублів).



У практичній частині роботи виконали стиснення мовного сигналу з урахуванням два аспекти децимації вихідних послідовностей КІХ-фільтрів:

У першому випадку береться до уваги стиснення сигналу з однаковою кількістю частотних інтервалів  $R$  при децимації. Якість відтворення сигналу зберігається. Отримали коефіцієнт стиснення приблизний 1. Можна і сказати, що стиснення не відбувається.

У другому випадку розглядається стиснення сигналу з різною кількістю частотних інтервалів  $R$  при децимації (враховується коефіцієнт децимації). Похибка відновлення збільшується майже в 2 рази, ніж в першому випадку. Коефіцієнт стиснення досягає значення понад 1,5. Якість відтворення сигналу втрачається при стисненні. Сигнали мур сприймаються після їх стиснення, але з терпимими помилками.

Лістинг програми для стиснення звукових сигналів, написані в MATLAB, є в додатках і всі кроки виконання роботи в пояснювальній записці.

При виконанні роботи проходили дослідження методів стиснення звукового сигналу на основі субсмугового кодування, виконали розробку алгоритмів стиснення мовного сигналу з використанням субсмугового перетворення на основі КІХ-фільтрації, і дали економічну оцінку результатів дослідження. Таким чином можна зробити висновок, що цілі випускної кваліфікаційної роботи досягнуто і всі поставлені завдання виконані.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. О субполосном преобразовании звуковых сигналов / Е.Г. Жиляков, С.П. Белов, Е.И. Прохоренко // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова. – М., 2006. – Выпуск VIII-1. – С. 167–169. – (Серия: цифровая обработка сигналов и ее применение).
2. Субполосмуговое кодирование / <http://lib.sernam.ru/> - Научная библиотека избранных естественно-научных изданий / URL: [http://lib.sernam.ru/book\\_gvwt.php?id=3](http://lib.sernam.ru/book_gvwt.php?id=3) (дата обращения 15.05.2016).
3. Уолт, К. Цифровая обработка сигналов / URL: [http://getfr.no-ip.org/pub/dc/doc/Физика/Книги\\_разные/Кестер](http://getfr.no-ip.org/pub/dc/doc/Физика/Книги_разные/Кестер) У Цифровая обработка сигналов.pdf (дата обращения 15.05.2016).
4. Жиляков, Е.Г. О сжатии речевых сигналов [Текст] / Е.Г. Жиляков, С.П. Белов // Вестник НТУ "Харьковский политехнический институт". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2005. № 56. С. 32–40.
5. Шелухин, О.И. Цифровая обработка и передача речи / О.И. Шелухин, Н.Ф. Лукьянцев. – М.: Радио и связь, 2000. – 208 с.
6. Ковалгин, Ю.А. Цифровое кодирование звуковых сигналов / Ю.А. Ковалгин, Э.И. Вологдин. – СПб.: КОРОНА-принт, 2004. – 240 с., ил.
7. Рафинер, Л.Р. Цифровая обработка речевых сигналов / Л.Р. Рафинер, Л.В. Шафер. – М.: Радио и связь, 1981. – 496с.
8. Jhon G. Proakis, McGraw Hill Digital Communications, 1995 / [www.books.google.ru](http://www.books.google.ru) - официальный сайт Гугл / URL: [https://books.google.ru/books/about/Digital\\_Communications.html?id=cIqYQgAAC](https://books.google.ru/books/about/Digital_Communications.html?id=cIqYQgAAC)  
Pan, D. A Tutorial on MPEG/Audio Compression [Текст] / D. Pan. -IEEE Multimedia Journal, Summer 1995.
9. Жиляков Е.Г. УМКД по дисциплине «Обработка речевых данных в ИТС» / [www.studfiles.ru](http://www.studfiles.ru) - Файловый архив для студентов. StudFiles / URL:

<http://www.studfiles.ru/preview/1424391>.

10. Вікіпедія / URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Сжатие\\_данных](https://ru.wikipedia.org/wiki/Сжатие_данных)
11. Вікіпедія / URL: [https://es.wikipedia.org/wiki/Compresiyn\\_de\\_audio](https://es.wikipedia.org/wiki/Compresiyn_de_audio).
12. Солонина, А. Моделирование цифровой обработки сигналов в MATLAB <http://www.kit-e.ru> – Журнал «Компоненты и технологии» / URL: [http://www.kit-e.ru/assets/files/pdf/2009\\_06\\_128.pdf](http://www.kit-e.ru/assets/files/pdf/2009_06_128.pdf).
13. Шелухин, О.И. Сжатие аудио и видео информации: Учеб. пособие / О.И. Шелухин, А.В. Гузеев. - М.: МТУСИ, 2012.
14. Методы сжатия данных / Д. Ватолин, А. Раушняк, М. Смирнов, Юкин В. - М.: Диалог-МИФИ, 2003.
15. Ковалгин, Ю.А. Цифровое кодирование звуковых сигналов / Ковалгин, Ю.А., Вологдин Э.И. - СПб.: Корона-Принт, 2004.
16. Сергиенко, В.С. Сжатие данных, речи, звука и изображений в телекоммуникационных системах: Учебное пособие / Сергиенко В.С., Баранов В.В.– М.: ИП «РадиоСофт», 2011 – 360 с.
17. Пиуновский, Е.В. Современные технологии сжатия аудиосигналов: Учеб. пособие / Е.В. Пиуновский, А.А. Тропченко // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО, выпуск №1, январь-февраль 2010 – СПб, 2010, с.46-52.
18. Тропченко, А.Ю. Методы сжатия изображений, аудиосигналов и видео: Учебное пособие / А.Ю. Тропченко, А.А Тропченко. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 108 с.
19. Методические рекомендации по выполнению технико-экономического обоснования выпускных квалификационных работ: Методические указания / А.В. Болдышев. – Белгород: БелГУ, 2013.
20. Организация производства и предпринимательства в АПК: Учебное пособие / Ф.Я. Начитов, О.Ю. Патласов, Ф.К. Шакиров и др. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 2004. -596 с.

45.

## ДОДАТОК А

Наведено лістинг алгоритму стиснення мовного сигналу з використанням субсмугового перетворення на основі КІХ-фільтрів при однакових коефіцієнтах децимації.

```

clc
clear all
L=512; % длина импульсной характеристики фильтра le=L/2;
R=16; % количество частотных интервалов
V=[0:1/R:1]; % задание полос задержки и пропускания фильтра c=0.001; % переходная полоса
%Фильтры %фнч
h(1,:)=cremez(L,[0 (V(2)) (V(2)+c) 1],'lowpass'); % расчет характеристики фильтра figure(1),
freqz(h(1,:),1,L); % построение графиков АЧХ и ФЧХ фильтра % ПФ count=2; for i=2:length(V)-2
temp_V=[0 (V(i)-c) V(i) V(i+1) (V(i+1)+c) 1];
h(count,:)=cremez(L,temp_V,'bandpass'); % расчет характеристики фильтра
figure(count), freqz(h(count,:),1,L); % построение графиков АЧХ и ФЧХ фильтра
count=count+1; end
% ФВЧ
h(R,:)=cremez(L,[0 (V((length(V))-1)-c) (V((length(V))-1)) 1],'highpass');% расчет характеристики
фильтра figure(R), freqz(h(R,:),1,L); % построение графиков АЧХ и ФЧХ фильтра
% % исходный сигнал
[X_ish,Fs,bits]=wavread('01.wav'); X_ish=X_ish';
% X_ish – вектор отсчетов исходного сигнала
% Fs - частота дискретизации
% bits - количество бит на один отсчет сигнала
No=le;
Lx=length(X_ish); % длина исходного сигнала
Nx=floor(Lx/No);
X_vost(1:Lx)=0;
for nx=1:Nx
X=X_ish((nx-1)*No+1:nx*No); %отрезок сигнала, соответствующий звуку
zer=zeros(1,le); % добавляем нулей слева и справа Z=[zer,X,zer];
% Вых. последовательность фильтров for j=1:R for i=1:le y(j,i)=0; for k=1:(2*le+1)
y(j,i)=y(j,i)+h(j,k)*Z(i+k-1); % Вых. пос-ть end; end; end
%Децимация

```

```

de_y=zeros(R,size(y,2)/R); for i =1:R
count=1;
for j = 1:16:size(y,2)
de_y(i,count)=y(i,j); %Децимация
count=count+1;

    end end
% %восстановление vo_y = zeros(R,size(y,2)); for k =1:size(de_y,1) count=1; for j =1:16:size(y,2)
vo_y(k,j) = de_y(k,count); % вектор восстановления count=count+1; end end for j=1:R
    Z2=[zer,vo_y(j,:),zer]; for i=1:le
y2(j,i)=0;
for k=1:(2*le+1)
    y2(j,i)=y2(j,i)+h(j,k)*Z2(i+k-1); % Интерполяция end end end
vo_X = zeros(1,length(X)); % Восстановленный отрезок сигнала for i = 1:size(vo_y,1) for
j=1:size(vo_y,2)
    vo_X(1,j)=vo_X(1,j)+y2(i,j); % сложить все отфильтрованные отрезки end end
vo_X=vo_X.*R; %каждый отсчет умножить на число равное количеству фильтров X_vost((nx-
1)*No+1:nx*No)=vo_X; nx end % %строим графики figure(20)
plot(X_ish),xlabel('Количество отчетов'), ylabel('Амплитуда') figure(30)
plot(X_vost),xlabel('Количество отчетов'), ylabel('Амплитуда') figure(22) hold on plot(X,'-b')
plot(vo_X,'--r'),xlabel('Количество отчетов'), ylabel('Амплитуда') legend('Исходный отрезок
сигнала','Восстановленный отрезок сигнала') hold off figure(33) hold on plot(X_ish,'-b')
plot(X_vost,'--r'),xlabel('Количество отчетов'), ylabel('Амплитуда') legend('Исходный
сигнал','Восстановленный сигнал') hold off % Сохранение восст. сигнала
wavwrite(X_vost,'vost1_01.wav'); %среднеквадр погрешность sum1=0; sum2=0; for i=1:length(X_ish)
sum1=sum1+(X_ish(i)-X_vost(i))^2; sum2=sum2+(X_ish(i))^2; end Ee=sqrt(sum1/sum2);

```

## ДОДАТОК Б

Лістинг другого способу алгоритму стиснення звукових сигналів на основі використання КІХ-фільтрів при різних коефіцієнтах децимації.

```

clc
clear all
L=512; % длина импульсной характеристики фильтра le=L/2;
R=16; % количество частотных интервалов
V=[0:1/R:1]; % задание полос задержки и пропускания фильтра c=0.001; % переходная полоса
%Фильтры %фнч
h(1,:)=cremez(L,[0 (V(2)) (V(2)+c) 1],'lowpass'); % расчет характеристики фильтра figure(1),
freqz(h(1,:),1,L); % построение графиков АЧХ и ФЧХ фильтра % ПФ count=2; for i=2:length(V)-2
temp_V=[0 (V(i)-c) V(i) V(i+1) (V(i+1)+c) 1];
h(count,:)=cremez(L,temp_V,'bandpass'); % расчет характеристики фильтра figure(count),
freqz(h(count,:),1,L); % построение графиков АЧХ и ФЧХ фильтра count=count+1; end
% ФВЧ
h(R,:)=cremez(L,[0 (V((length(V))-1)-c) (V((length(V))-1)) 1],'highpass');% расчет характеристики
фильтра figure(R), freqz(h(R,:),1,L); % построение графиков АЧХ и ФЧХ фильтра % исходный сигнал
[X_ish,Fs,bits]=wavread('01.wav'); X_ish=X_ish'; % X_ish – вектор отсчетов исходного сигнала % Fs -
частота дискретизации
% bits - количество бит на один отсчет сигнала No=le; Lx=length(X_ish); Nx=floor(Lx/No);
X_vost(1:Lx)=0; for nx=1:Nx
X=X_ish((nx-1)*No+1:nx*No); %отрезок сигнала, соответствующий звуку
zer=zeros(1,le); % добавляем нулей слева и справа
Z=[zer,X,zer];
% Вых. последовательность фильтров
for j=1:R
for i=1:le y(j,i)=0; for k=1:(2*le+1)
y(j,i)=y(j,i)+h(j,k)*Z(i+k-1); % Вых. пос-ть end; end; end % Децимация k=1/R; for i=1:R count=1;
n=round(R/(k*i)); for j=1:n:size(y,2)
de_y(i,count)=y(i,j); count=count+1; end; end clear n
% восстановление vo_y=zeros(R,size(y,2));

for i=1:R
nn=round(R./(k*i)); m=de_y(i,:); clear w for j=1:R
if m(j)~=0
w(j)=m(j); end; end count=0;

```

```

for ww=1:nn:size(y,2) count=count+1; vo_y(i,ww)=w(count); end end for j=1:R
Z2=[zer,vo_y(j,:),zer]; for i=1:le
y2(j,i)=0;
for k=1:(2*le+1)
    y2(j,i)=y2(j,i)+h(j,k)*Z2(i+k-1); % Интерполяция end end end
vo_X = zeros(1,length(X)); for i = 1:size(vo_y,1) for j=1:size(vo_y,2)
    vo_X(1,j)=vo_X(1,j)+y2(i,j); % сложить все отфильтрованные отрезки end end
vo_X=vo_X.*R; %каждый отсчет умножить на число равное количеству фильтров X_vost((nx-
1)*No+1:nx*No)=vo_X; nx end % %строим графики figure(20)
plot(X_ish),xlabel('Количество отчетов'), ylabel('Амплитуда') figure(30)
plot(X_vost),xlabel('Количество отчетов'), ylabel('Амплитуда') figure(22) hold on plot(X,'-b')
plot(vo_X,'--r'),xlabel('Количество отчетов'), ylabel('Амплитуда') legend('Исходный отрезок
сигнала','Восстановленный отрезок сигнала') hold off figure(33) hold on plot(X_ish,'-b')
plot(X_vost,'--r'),xlabel('Количество отчетов'), ylabel('Амплитуда') legend('Исходный
сигнал','Восстановленный сигнал'); hold off % Сохранение восст. сигнала
wavwrite(X_vost,'vost2_01.wav'); %среднеквадр погрешность sum1=0; sum2=0; for i=1:length(X_ish)
sum1=sum1+(X_vost(i)-X_ish(i))^2; sum2=sum2+(X_ish(i))^2; end Ee=sqrt(sum1/sum2);

```