

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Магістерської та
аспірантської підготовки
Кафедра Автоматизованих систем
моніторингу навколишнього
середовища

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Спектральний аналіз музичних жанрів та виконавців»

Виконав студент 2 курсу групи МК- 62
спеціальності 122 Комп'ютерні науки
та інформаційні технології
Коритнюк Максим Ігорович

Керівник к.т.н, доц.
Перелигін Борис Вікторович

Консультант _____

Рецензент д.т.н., проф
Скачков Валерій Вікторович

Одеса 2018

АНОТАЦІЯ

Представлена робота Коритнюка Максима Ігоровича, на тему «Спектральний аналіз музичних жанрів та виконавців».

Мета роботи полягає в проведенні спектрального та кореляційного аналізу пісень різних виконавців в одному жанрі, використовуючи віконне перетворення Фур'є. Аналіз та виявленні, якщо можливо, індивідуальних характеристик, маркерів та шаблонів.

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішення наступних завдань:

- вибір жанру, авторів та пісень;
- створення алгоритму та програми спектрального аналізу;
- побудова загального спектру для пісень кожної групи виконавців;

У введенні обґрунтована актуальність теми, поставлено цілі написання дипломного проекту, визначено об'єкт і предмет дослідження, задачі.

В першому розділі дипломного проекту розглянуті теоретичні основи музики, музичних жанрів.

В другому розділі дана загальна характеристика жіночих та чоловічих співочих голосів та їх частотні характеристики.

В третьому розділі представлені методи спектрального аналізу які використовуються при обробці сигналів.

В четвертому розділі представлена розробка алгоритму спектрально-кореляційного аналізу та коду програми.

Заключна частина містить результати роботи програми спектрального аналізу та основні висновки.

Магістерська робота викладена на 62 сторінках, включає 4 таблиці, 22 рисунки, 4 формули, 1 додаток та 25 літературних посилань.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: спектральний аналіз, кореляційний аналіз, віконне перетворення Фур'є, музика.

SUMMARY

The work of Korytnyuk Maxim Igorovich, on the topic "Spectral analysis of musical genres and performers".

The goal of the work is to do spectrum analysis and correlation analysis of the songs of different performers in a single genre, using the short-time Fourier transform. Analyze and identify, if possible, individual characteristics, markers and patterns.

To achieve this goal the following tasks must be solved:

- choice of genre, authors and songs;
- creating an algorithm and a program of spectrum analysis;
- construction of a general spectrum for the songs of each group of performers;

The introduction of the substantiated relevance of the topic, the goals of writing the diploma project, the object and subject of the study, tasks are determined.

The first section of the diploma project examines the theoretical foundations of music, musical genres.

The second section gives a general description of female and male singing voices and their frequency characteristics.

The third section presents the methods of spectral analysis used in the processing of signals.

The fourth section presents the development of an algorithm for spectral correlation analysis and program code.

The final part contains the results of spectral analysis of various songs within a single genre and main conclusions.

The master's thesis is presented in 62 pages, including 4 tables, 21 figures, 4 formulas, 1 supplement and 25 references.

KEY WORDS: spectral analysis, correlation analysis, short-time Fourier transform, music.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОПИС ЖАНРІВ МУЗИКИ.....	8
1.1 Фізична основа звуку.....	8
1.2 Звукова система і стрій.....	10
1.3 Музичний жанр.....	10
1.4 Комерційні класифікації музики.....	12
1.5 Поп-музика.....	13
1.6 Рок.....	15
2 ЧОЛОВІЧІ ТА ЖІНОЧІ СПІВОЧІ ГОЛОСИ.....	16
2.1 Людський голос.....	16
2.2 Поділ голосів на гендерному рівні.....	18
2.3 Жіночі співочі голоси.....	19
2.4 Чоловічі співочі голоси.....	19
2.5 Поділ голосів по частотам.....	20
3 ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СИГНАЛІВ.....	23
3.1 Цифрова обробка сигналів.....	23
3.2 Дискретизація сигналів.....	29
3.3 Дискретне перетворення сигналів.....	29
3.4 Дискретне перетворення Фур'є.....	30
3.5 Швидке перетворення Фур'є.....	31
3.6 Віконне перетворення Фур'є.....	33
4 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ МУЗИЧНИХ ЖАНРІВ ТА ВИКОНАВЦІВ.....	34
4.1 Поняття алгоритму та основні елементи блок-схеми.....	34
4.2 Блок-схема алгоритму.....	38
4.3 Розробка коду програми спектрально-кореляційного аналізу.....	39
5 СПЕКТРАЛЬНИЙ ТА КОРЕЛЯЦІЙНО-СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ МУЗИЧНИХ ЖАНРІВ ТА ВИКОНАВЦІВ.....	45
5.1 Аналіз за допомогою перетворення Фур'є.....	45
5.2 Оцінка та аналіз вибору виконавців та їх жанру.....	46
5.3 Узагальнений спектральний аналіз.....	47
5.4 Кореляційно-спектральний аналіз.....	52
ВИСНОВКИ.....	60
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	61
ДОДАТОК А Графічна частина магістерської роботи.....	63

ВСТУП

В роботі розглядається як теоретична, так і практична частина, перетворення Фур'є.

Мета роботи полягає в проведенні спектрального та кореляційного аналізу пісень різних виконавців в одному жанрі, виборі жанрів, виконавців, використовуючи віконне перетворення Фур'є. Виявленні, якщо можливо, індивідуальних характеристик, маркерів та шаблонів.

На прикладі, коли музикант грає композицію, то він по черзі або одночасно затискає і відпускає клавіші, в результаті чого кілька синусоїдальних сигналів накладаються один на одного, утворюючи малюнок. Саме цей малюнок сприймається нами як мелодія, завдяки чому ми без великих зусиль дізнаємося один твір, виконуваний на різних інструментах у різних жанрах або навіть чи непрофесійно наспівує людина.

Важливо розуміти, коли ми беремося аналізувати реальний сигнал за допомогою перетворення Фур'є, ми ідеалізуємо ситуацію і виходимо з припущення, що він періодичний на поточному часовому інтервалі і складається з елементарних синусоїд[1].

Оскільки аналоговий сигнал математично складається з нескінченного безперервного в часі множини точок значень амплітуди, в процесі вимірювання ми можемо виділити з нього лише кінцевий ряд значень в дискретні моменти часу, тобто, по суті, виконати квантування за часом.

Насиченість треку певними частотами досить індивідуальна, але при цьому схожа для подібних композицій або авторів, наприклад автор або напрямок музики буде давати схожу картину «насиченості» треку на рівні окремих частот.

Для оптимальної побудови узагальнених спектрів необхідно правильно підібрати розміри вікна, від цього залежить роздільна здатність, та якість результатів.

Для отримання частотних характеристик використовується система для виконання математичних розрахунків Octave.

Задачі магістерської роботи:

- вибір жанру, авторів та пісень;
- створення алгоритму та програми;
- побудова загального спектру для пісень кожної групи виконавців;
- побудова загального спектру для тестового набору пісень;
- розрахування кореляційних функцій між групами виконавців.
- порівняння частотних характеристик для виявлення індивідуальних маркерів.

1 ОПИС ЖАНРІВ МУЗИКИ

Музика — мистецтво організації музичних звуків, насамперед в часовій (ритмічній), звуковисотній та тембровій шкалі. Музичним може бути практично будь-який звук з певними акустичними характеристиками, які відповідають естетиці тої чи іншої епохи, та може бути відтвореним.

Джерелами такого звуку можуть бути: людський голос, музичні інструменти, електричні генератори тощо[1].

1.1 Фізична основа звуку

Слово звук визначає два поняття: перше - звук як фізичне явище; друге — звук як відчуття.

1) В результаті вібрації (коливання) будь-якого пружного тіла, наприклад струні, виникає хвилеподібне поширення коливань повітряної середи. Ці коливання називаються звуковими хвилями. Вони поширюються від джерела звуку в усіх напрямках.

2) Звукові хвилі уловлюються слуховім органом і викликають в ньому роздратування яке передається по нервовій системі в головний мозок, збуджуючи відчуття звуку.

Ми сприймаємо дуже багато різних звуків. Але не всі звуки використовуються в музиці. Наш слух розрізняє звуки музичні, звуки шумові. Шумові звуки не мають точно вираженої висоти, наприклад тріск, скрип, стук, грім, шурхіт і т.п., і тому не можуть бути використані в музиці. Фізичний характер музичного звуку визначається трьома властивостями; в їх число входять: висота, гучність і тембр. Крім того, в музиці має велике значення тривалість звуку. від того, що звук буде триваліше або коротше, не зміниться його фізичний характер, але з точки зору музики тривалість звуку,

як одна з його властивостей, має першорядне значення (рівних засадах його властивостями).

Висота звуку залежить від частоти (швидкості) коливання віброуючого тіла. Чим частіше коливання, тим вище звук, і навпаки[1].

Основним елементом музичного мистецтва є музичний звук. Властивості звуку вивчає музична акустика та елементарна теорія музики. Суб'єктивні особливості сприйняття звуку людиною дозволяють виділити чотири основні властивості музичного звуку — звуковисотність, тембр, гучність та тривалість[1].

Висота звуку залежить від частоти звукових коливань і може бути виражена з різним ступенем ясності, в залежності від чого розрізняють звуки визначеної і невизначеної висоти. Більшість використовуваних в музиці звуків — це звуки визначеної висоти, які можна охарактеризувати частотою коливань їх основного тону і зафіксувати як ноту, в теорії музики вони також називаються тонами. Поряд зі звуками з визначеною висотою, в музиці використовуються і звуки з невизначеною висотою — є звуки ряду ударних музичних інструментів (наприклад барабанів), деякі синтетичні звуки та шумові ефекти[2].

Тембром називатися якісна сторона звуку, його забарвлення. Для визначення особливостей тембру застосовуються слова з різних областей відчуттів, наприклад, кажуть: звук м'який, різкий, густий, дзвінкий, співучий. Відомо, що кожен інструмент або людський голос має характерний для нього тембром. Звук певної висоти, відтворений різними музичними інструментами, відрізняється у кожного інструменту своїм забарвленням. Різниця тембрів залежить від складу часткових тонів, які притаманні кожному звуку. Тембр звуку залежить від форми коливань джерела звуку і визначається кількістю та інтенсивністю обертонів, що утворюють гармонічний ряд. Тембральне різнобарв'я музики визначається багатоманіттям музичних інструментів та прийомами гри на них. Тембр також є важливою характеристикою співацького голосу[2].

Гучність звуку характеризується як слухове уявлення про силу звуку, що виникає в свідомості людини під час сприйняття звуку. В абсолютному вимірі звучання музики може досягати сили 100 дБ у симфонічному концерті і 120 дБ у концертах рок-музики. Натомість, в музичній практиці важливіше значення має умовне співвідношення рівнів сили звуку, яке називається динамікою і є одним з її виразових засобів[3].

Тривалість звуку залежить від часу тривання коливального процесу і, як правило, позначається у відносних одиницях — музичних тривалостях, абсолютне значення яких залежить від темпу, в яких вони відтворюються[3].

1.2 Звукова система і стрій

Здебільшого, музична практика обмежена звуками з частотою їх основних тонів від 27 Гц до 4 кГц, що відповідає діапазону від ноти ля субконтроктави до ноти до 5-ї октави. Вся сукупність використовуваних звуків називається звуковою системою, а відношення між двома звуками цієї системи — музичним інтервалом[4].

Абсолютна висота звуків музичної системи та числове співвідношення їх частот називається музичним строем.

У процесі тривалої еволюції в європейській музиці закріпилися звукова система, що характеризується поділом усього музичного діапазону на октави і подальшим поділом кожної октави на 12 інтервалів — півтонів. При цьому інструменти з фіксованим звукорядом (напр. фортепіано) прийнято настроювати у рівномірно-темперованому строї, який забезпечує рівномірний поділ октави. Натомість гра на інструментах, що не передбачають фіксованого звукоряду (напр. скрипка), а також спів, характеризується певними відхиленнями від рівномірно-темперованого строю, завдяки чому в оркестрі виникає т. зв. зонний стрій, а в хорі — хоровий стрій[4].

1.3 Музичний жанр

Музичний жанр — багатозначне поняття, що характеризує класифікацію музичної творчості за родами і видами, з огляду на їх походження, умови виконання, сприймання та інші ознаки (зміст, структура, засоби виразності, склад виконавців тощо). Поняття музичного жанру відображає основну проблему музикознавства і музичної естетики — взаємозв'язок між позамузичними факторами творчості з її суто музичними характеристиками. Музичний жанр є одним із найважливіших засобів художнього ототожнення. Якщо в академічній музиці класифікація музичної творчості за жанрами та стилями детально розроблена музикознавцями, то в сучасній популярній музиці поняття жанру і стилю нерідко вживаються як тотожні, що дає підстави говорити про плутанину термінів[6].

Так, наприклад, деякі джерела класифікують кантрі, фольк-рок, панк-рок як музичні жанри, в той час як інші ті самі явища називають музичними стилями.

Аналогічну плутанину термінів можна спостерігати в російськомовних джерелах з яких вона, скоріш за все і потрапила в українськомовну. Так в російській мові схожі списки іменуються в одних джерелах музичними стилями а в інших - музичними жанрами, або напрямленнями[8]

Схожу ситуацію спостерігаємо і в англomовних джерелах - Ресурс Music styles використовує термін англ. styles, в той час як англійська вікіпедія, та деякі інші джерела використовує термін англ. genre, а також похідний - subgenre. При цьому термін music genre розглядається як «категорія, що об'єднує музичні твори за стилем або основою музичною мовою».

Зміст музики складають художньо-інтонаційні образи, тобто відбиті в усвідомленому звучанні результати відображення, перетворення та естетичної оцінки об'єктивної реальності людиною. Згідно з сучасними уявленнями, такі образи кодуються і зберігаються на нейродинамічному рівні

в головному мозку людини, щоправда форми її кодування дещо відрізняються від невербальних інформаційних потоків. Більшою мірою сприйняття конкретних образів і сигналів є функцією правої півкулі мозку, отже, вважається, що саме права півкуля більшою мірою відповідальна за музичну діяльність.

Матеріальне втілення змісту музики, способом його існування є музична форма. Деякі дослідники вважають музичну форму складною ієрархічною структурою, в якій можна виділити такі рівні як звуковий (фонічний), інтонаційно-мовний, фактурний та композиційний[1]. Зміст і форма виступають як ідеальна та матеріальна сторона музичного твору.

В радянському музикознавстві музична форма вважалася другорядною відносно змісту, проте пов'язаною зі змістом зворотнім зв'язком. В той же час поширена думка про те, що музика не мусить містити нічого, окрім власне музичних звуків, в цьому випадку поняття змісту і форми музики є тотожними. В сучасному музикознавстві набуває ваги точка зору, згідно з якою зміст музики може бути представлений двома складовими — «спеціальною», притаманною тільки музиці і зазвичай описуваному термінами музичного формотворення, і «неспеціального», присутнього як в музиці так і поза нею, і зазвичай описуваного через образні асоціації, емоційні характеристики тощо[5].

Можливість передавати думки та емоції людини засобами музичного мистецтва обґрунтовується фізично та біологічно зумовленим зв'язком звукових проявів людини з її психічною діяльністю (особливо емоційною), а також активності звуку як подразника та сигналу до дії[3]. В деякому сенсі музика вважається аналогічною до мовлення людини, коли її внутрішній стан та ставлення до чогось виражається через зміну характеристик звучання голосу при висловлюванні[7].

1.4 Комерційні класифікації музики

Компанії, що займаються продажем аудіозаписів у своїх класифікаціях зазвичай використовують термін «жанр» (genre). При цьому академічна музика зазвичай описується терміном «класика» (classical) і класифікується за складом її виконавців (камерна, оркестрова, вокальна тощо). Популярна музика має розгалужену класифікацію, при цьому кількість основних напрямків є різною.

Наприклад, один з найбільших інтернет-магазинів amazon.com виділяє 24 категорії, які називає «жанрами»: «альтернативний рок», «блюз», «бродвей і вокал», «дитяча музична», «християнська музика», «класична музика», «класичний рок», «кантрі», «електронна і танцювальна», "фольклор, "госпел, «важкий метал», «інді», «джаз», «латинська музика», «різне», «нью-ейдж», "опери, «R&B», «реп і хіп-хоп», «реггі», «рок-музика», «саундтреки», «світова музика».

Найбільша онлайнова база даних All Music Guide, виділяє 11 категорій, називаючи їх «стилями» (styles), деякі з категорій при цьому частково перекривають одна одну: «поп/рок» (сюди включені також деякі танцювальні напрямки, підкатегорія «dance»), «джаз», «R&B» (включно з репом і хіп-хопом), «реп» (частково дублює попередню), «кантрі», «блюз», «електронна музика» (має також підкатегорію «dance», що перекривається з аналогічної підкатегорією поп/рок), «латинська музика», «реггі», «світова музика» (international, частково перекривається з реггі, джазом).

Українська онлайн-крамниця «umka.com.ua», що спеціалізується на продажах українських аудіозаписів, виділяє такі категорії: «Народна музика», «Церковна музика», «Рок та альтернатива», «Хіп-хоп», «Поп (Легка) музика», «Естрада», «Забава», «Джаз та навколо», «Електроакустичні досліді», «Класична музика», «музика для дітей»[5].

1.5 Поп-музика

Поп-музика — поняття, що охоплює різноманітні стилі, жанри та напрями масового музикування. Феномен поп-музики сформувався передусім в англomовних країнах Заходу як явище молодіжної культури.

Інструментальні ресурси поп-музики обмежені, як правило, електрогітарами та ударними інструментами з епізодичним застосуванням саксофонів та інших, зокрема екзотичних інструментів. Для сучасної поп-музики велике значення відіграє електронна апаратура. Мелодії, як правило, нескладні, ритмічні, легко запам'ятовуються.

Вокальний стиль поп-музики характеризується мелодійною та емоційною манерою виконання, застосуванням «відкритого» звука, наближенням до мовлення співом, демонстративно «непоставленими» голосами, неприродною теситурою, з широким використанням екстатичних вигуків, стогонів, завивань та інших ефектів.

Сучасна поп-музика формувалася паралельно з іншими жанрами, такими як рок-музика, і не завжди була віддільна від них. У 1970-х і 1980-х її найтипівішою формою був т. зв. «Традиційна музика» (traditional pop), який в СРСР було прийнято називати «естрадна музика», «естрада». Традиційний поп виконується співаком-солістом під фоновий акомпанемент. У США естрада була тісно пов'язана з джазом (Френк Сінатра), у Франції — з шансоном. Аналогічні виконавці популярні і в СРСР — Леонід Утьосов, Клавдія Шульженко, Марк Бернес, Володимир Трошин. Значну частину поп-музичної сцени США складають виконавці-афроамериканці у жанрі соул.

Справжнім проривом в поп-музиці стала поява в 1970-ті стилю «диско» (євродиско) і таких груп, як ABBA, Boney M, Dschinghis Khan, Bee Gees. Поп-музика відтепер витісняє рок-н-рол як основна танцювальна музика на дискотеках, і з цього часу танцювальна музика (dance music) є одним з основних напрямків у поп-музиці.

Завдяки появі музичного телебачення (зокрема, телеканалу MTV), в 1980-ті формується культура відеокліпів. У цей час у США з'являються такі зірки, як Майкл Джексон, Мадонна, Прінс, Вітні Х'юстон. На поп-музику в

цей період впливають хіп-хоп, соул і ритм-енд-блюз. У 1990-ті і 2000-ні до цього додається танцювальна електронна музика. Від 2009, в Італії, з'являються такі зірки як Ноеті.

Сучасні форми поп-музики поширені в усьому світі, проте складність її оцінювання як культурного явища зумовлена неоднозначністю естетичної оцінки та соціальної ролі[5].

1.6 Рок

Рок-музика — узагальнена назва низки напрямків популярної музики другої половини ХХ століття, що походять від рок-н-ролу та ритм-енд-блюзу. Термін Rock очевидно є скороченням від Rock'n'roll і дослівно перекладається як «хитати(ся); трясти(ся)».

Рок-музика має велику кількість напрямків: від танцювального рок-н-ролу до важкого металу. Зміст пісень варіюється від легкого і невимушеного до похмурого, глибокого і філософського. Основні центри розвитку рок-музики — західна Європа (особливо Скандинавія та Велика Британія) і США. Проте, хоча, як правило, з деяким запізненням, національна рок-музика з'явилася практично у всіх країнах. Українська рок-музика з'явилася за часів СРСР в кінці 1960-х років.

Термін «рок-музика» щодо конкретного колективу іноді не є чітко визначеним через комбінування та поєднання окремими виконавцями різної жанрової стилістики. При визначенні належності того чи іншого напрямку до рок-культури, користуються соціальним та музичним факторами.

Рок-музика комбіновано виконується рок-гуртом, що зазвичай складається з вокаліста, гітариста, басу, соло і ударника, іноді також клавішника. В окремих випадках може бути присутнім також саксофон, губна гармоніка, акордеон та інші інструменти.

Характерні риси рок-музики — одноманітний ритм з сильним бек-бітом, що підтримується барабанами, та електрогітарою (часто — з ефектом

дісторшн). Сольні епізоди також виконуються на електрогітарі. В гармонічному та мелодійному відношенні ранній рок-музиці в основному характерна блюзова гармонія, однак в пізніший період спостерігається значна різноманітність музичних рис. Характерною рисою рок-музики, також є її колективність — рок-музика часто є продуктом колективної творчості, а створення й виконання музики є нерозривним процесом[5].

2 ЧОЛОВІЧІ ТА ЖІНОЧІ СПІВОЧІ ГОЛОСИ

2.1 Людський голос

Протягом всієї історії людства, люди створили безліч музичних інструментів. На звання найстаршого з них претендують і барабан, і пастуший ріжок, але найголовнішим, найпершим і, до речі, самим досконалим музичним інструментом, чия історія починається ще за часів пітекантропів і кроманьйонців, є голос. Ровесник людства, дар, підносили щедрою природою кожній дитині, а як розпорядитися таким даром згодом, люди вирішують самі.

Вдале будова горла, голосових зв'язок, ще кількох найважливіших елементів і деталей "співочого апарату" надзвичайно важливі для формування сильного звуку, приємного тембру і великого діапазону співака[6].

Ось як описує "апарат" Федора Івановича Шаляпіна письменник Іраклій Андроніков: "Я подивився в горло Шаляпіну і побачив там ... Глотка, вона здавалася ширше шиї Шаляпіна. Небо - воно високо піднімалося склепінням під самі очі Шаляпіна. Мова - він тремтів і покірно розташовувався біля самого коріння зубів. У горлі не було жодної зайвої деталі, і все воно розглядалося як чудове архітектурне спорудження "[6].

За своїм жагучому напруженню, за силою емоційного впливу на слухачів з голосом не може зрівнятися жоден інструмент. Ось чому шанувальників і фанатів у вокалістів завжди трохи більше, ніж у самих кращих інструменталістів. На концертах відомих співаків глядачі впадають в екстатичний стан і в буквальному сенсі сходять з розуму. Причому було це завжди, незалежно від часу і жанру. На виступах Шаляпіна і Карузо шанувальники точно так само втрачали свідомість, як і на концертах "Бітлз" або Майкла Джексона. Одним словом, голос - це страшна сила.

Спираючись на всі вищенаведені факти, ми переконуємося, що природа дала людині необмежені можливості, які не можуть зрівнятися ні з одним технічним засобом. Ось, наприклад, Еллен Біч Йо в 1896 році 19 січня в Карнегі-Хол, в Нью-Йорку розпочала свою арію з ноти "мі" 4-й октави. Ще якихось п'ять мегагерц "вгору", і її голос альт-альтіссімо перестав би бути чутним залом. А найнижчою нотою в історії вокалу є нота "ля" контроктави (55 герц / коливань в секунду), взята відомим "октавісти" (володарем баса профундо) Каспером Фостером (1617-1673). Для порівняння слід сказати, що після двадцяти герц "вниз" починається вже інфразвук, що викликає у слухачів занепокоєння, що межує з божевіллям. Від звуку в 7 герц (сім коливань в секунду) можна навіть померти. На щастя, 7-ми герцові октавісти, не існують. Є, звичайно, технічні пристрої - генератори, здатні відтворювати і ультразвук, і інфразвук. Є й музичні синтезатори, які варіюють звуки в широкому діапазоні нотному, але ... співати генератори-синтезатори не вміють[6].

У той же час, наш голосовий апарат настільки невеликий, що важко очікувати від нього вражаючого звучання як від музичного інструменту. Як же тоді співакам вдається витягати настільки чарівні звуки.

Голосовий апарат людини не являє собою нічого особливого в порівнянні з традиційними музичними інструментами. Гортань разом з розташованими над нею дихальними шляхами за своїм розміром слід було б віднести до тієї ж групи, що й флейту-пікколо (одну з найменших). Проте досвідчені співаки здатні змагатися з усіма рукотворними інструментами - як один на один, так і з цілим оркестром. Вчені у своїх дослідженнях показали, як при співі досягається настільки широкий діапазон звуків, і розкрили дивно складні закономірності роботи елементів голосового апарату та їх взаємодії.

Протягом півстоліття фахівці пояснювали властивості людського голосу за допомогою так званої лінійної теорії мовної акустики, відповідно до якої джерело звуку і резонатор звуку (або підсилювач) працюють незалежно. Однак тепер вчені дізналися, що нелінійні взаємодії, при яких

джерело і резонатор впливають один на одного, грають несподівано важливу роль в генерації людського голосу. І завдяки новітнім дослідженням ми вже розуміємо, як великим співакам вдається витягати зачаровують звуки[6].

2.2 Поділ голосів на гендерному рівні

Всі співочі голоси поділяються на жіночі, чоловічі та дитячі. Основні жіночі голоси — це сопрано, мецо-сопрано і контральто, а найпоширеніші чоловічі голоси — тенор, баритон і бас. Всі звуки, які можна заспівати або зіграти на музичному інструменті, бувають високими, середніми і низькими. Музиканти, коли говорять про висоту звуків, користуються терміном «Регістр», маючи на увазі цілі групи високих, середніх або низьких звуків. У глобальному сенсі жіночі голоси співають звуки високого або «верхнього» регістру, дитячі голоси - звуки регістра середнього, а чоловічі - звуки низького або «нижнього» регістру. Але це вірно лише частково — усередині кожної з груп голосів і навіть усередині діапазону кожного окремого голосу теж є поділ на високий, середній і низький регістр[7].

Якщо говорити про регістрах якого-небудь одного голосу, то у кожного з них є і низькі звуки і високі. Наприклад, тенор співає і низькі грудні звуки, і звуки високі фальцетні, не доступні басам або баритон.

Робочий діапазон голосу професійно навченого вокаліста в середньому зазвичай становить дві октави, іноді, правда, співаки і співачки мають куди більш широкими можливостями(табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Типи голосів

	Жіночі	Дитячі	Чоловічі
Високі	Сопрано	Дискант	Тенор
Середні	Мецо-сопрано	Альт	Баритон

Низькі	Контральто	-	Бас
--------	------------	---	-----

2.3 Жіночі співочі голоси

Отже, основні види жіночих співочих голосів – це сопрано, меццо-сопрано і контральто. Вони розрізняються, насамперед, діапазоном, а також тембровою забарвленням. До числа тембрових властивостей можна віднести, наприклад, такі, як прозорість, легкість або, навпаки, насиченість, сила голосу. Сопрано – Жіночий найвищий співочий голос, його звичайний діапазон – дві октави (цілком перша і друга октава). В оперних спектаклях часто партії головних героїнь виконуються саме співачками з таким голосом. Якщо говорити про художніх образах, то найкраще високий голос характеризує молоду дівчину або якого-небудь фантастичного персонажа (наприклад, фею). Сопрано за характером звучання поділяють на ліричний і драматичне. Якщо голос з легкістю справляється з швидкими пасажами і фіоритурами у своєму високому регістрі, то таке сопрано називають колоратурним. Меццо-сопрано – Жіночий голос з більш густим і сильним звучанням. Діапазон цього голосу – дві октави (від ля малої октави до ля другої). Меццо-сопрано зазвичай доручаються партії зрілих жінок, сильних і вольових за характером. Контральто – Уже говорилося про те, що це найнижчий з жіночих голосів, притому дуже красивий, оксамитовий, до того ж і дуже рідкісний (в деяких оперних театрах немає жодного контральто). Співачці з таким голосом в операх нерідко доручають партії хлопчиків-підлітків[8].

2.4 Чоловічі співочі голоси

Чоловічі співочі голоси Основних чоловічих голоси всього три – це тенор, бас і баритон. Тенор з них найвищий, його висотний діапазон – ноти малої і першої октав. За аналогією з тембром сопрано, виконавців, що

володіють цим тембром, поділяють на тенорів драматичних і тенорів ліричних. Крім того, іноді згадують такий різновид співаків, як «Характерний» тенор. «Характер» йому надається яким-небудь фонічними ефектом – наприклад, сріблястістю або деренчанням. Характерний тенор просто незамінний там, де потрібно створити образ сивочолого старого-старця або якого-небудь хитруна-пройдисвіти. Баритон – Цей голос відрізняється своєю м'якістю, густотою і оксамитові звучання. Діапазон звуків, які може заспівати баритон, полягає в межах ля великої октави до ля першої октави. Виконавцям з таким тембром часто доручаються мужні партії персонажів опер героїчного чи патріотичного плану, проте м'якість голосу дозволяє розкривати і любовно-ліричні образи. Бас – Голос найнижчий, може співати звуки від фа великої октави до фа першої. Баси бувають різні: одні розкотисті, «гудячі», «дзвонові», інші жорсткі і дуже «графічні». Відповідно і партії персонажів для басів відрізняються різноманітністю: це і героїчні, і «батьківські», і аскетичні, і навіть комічні образи. Напевно, вам цікаво дізнатися, який же з чоловічих співочих голосів самий-самий низький? Це бас-профундо, іноді співаків з таким голосом називають також октавісти, так як вони «беруть» низькі ноти з контроктави. До речі, ми ще не згадали про найвищий чоловічому голосі – це тенор-альтино або контртенор, який абсолютно спокійно співає майже жіночим голосом і з легкістю досягає високих нот другої октави[8].

2.5 Поділ голосів по частотам

Октава — в музиці та акустиці — інтервал між двома тонами, частоти яких співвідносяться як один до двох.

В музичній практиці октава визначається також, як восьмий ступінь діатонічного звукоряду, а також музичний інтервал, що охоплює 8 ступенів діатонічного звукоряду, звідки й походить назва. Окрім того октавою називається також ділянка звукоряду, в яку входять всі 7 ступенів — до, ре,

мі, фа, соль, ля, сі. Весь музичний діапазон таким чином поділяється на 7 повних та 2 неповні октави:

Діапазон застосовуваних в музиці звуків розбитий на 9 октав, кожна з яких має свою назву. Крім того існують різні способи позначення приналежності звуку тієї чи іншої октаві, з яких найпоширеніші два — нотація Гельмгольца та американська нотація. Найменування октав відбувається за наступним принципом, октава, що лежить посередині діапазону, називається «Перша октава», наступна вгору — «Друга», потім «Третя», «Четверта» і «П'ята». Октави нижче 1-ї мають власні назви «Мала октава» — це октава нижче 1-ї, «Велика» — нижче малої, «контроктава» — нижче великої, і нарешті «субконтроктава» — нижче контроктави — найнижча з використовуваних октав. Октави нижче субконтроктави і вище 5-ї октави виходять за діапазон застосовуваних в музиці звуків і тому не мають власних назв і позначень звуків.

Співочий голос характеризується більш широким діапазоном у порівнянні з розмовною мовою. Якщо діапазон розмовного голосу не більше однієї октави (від 4 до 6 тонів), то діапазон співочого — дві октави, а іноді і більше.

У співі розрізняють грудної звук (грудної регістр) і фальцет (головний чи фальцетний регістр). В освіті звуку головну роль грають поперечні коливання голосових складок — всередину і назовні. Саме вони в повному обсязі мають місце при грудному регістрі. При фальцетного регістрі голосові складки розслабляються, коливаються лише їх краю; голосова щілина закрыта не повністю, має еліпсоїдну форму. Фальцет (від італійського слова *falso* — помилковий) — спосіб формування високих звуків, що перевищують за частотою природний грудної регістр.

Висота голосу людини залежить в основному від частоти коливань голосових складок, а це в свою чергу залежить від їх довжини, ширини, пружності і натягу.

Сила голосу перебуває в прямій залежності від величини повітряного тиску в подголосовій порожнини, ступеня напруги голосових складок і визначається амплітудою їхніх коливань. Діапазони співочих голосів(табл. 2.2)[8].

Таблиця 2.2 – Діапазони голосів людини

№	Октава	Частота, Гц	Голос людини яка має можливість відтворювати подібні ноти
1	Контроктава	32,703 до 65,406	Бас-профундо
2	Велика октава	65,406 до 130,81	Бас
3	Мала октава	130,81 до 261,63	Бас-баритон
4	Перша октава	261,63 до 523,25	Баритон
5	Друга октава	523,25 до 1046,5	Тенор
6	Третя октава	1046,5 до 2093,0	Контратенор

3 ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СИГНАЛІВ

3.1 Цифрова обробка сигналів

Цифрова обробка сигналів (ЦОС) – це область обчислювальної техніки, що динамічно розвивається та охоплює як технічні, так і програмні засоби. Спорідненими областями для цифрової обробки сигналів є теорія інформації, зокрема, теорія оптимального прийому сигналів і теорія розпізнавання образів. При цьому в першому випадку основним завданням є виділення сигналу на фоні шумів і перешкод різної фізичної природи, а в другому – автоматичне розпізнавання, тобто класифікація та ідентифікація сигналу[9].

При цифровій обробці використовується подання сигналів у вигляді послідовностей чисел або символів. Ціль такої обробки може полягати в оцінці характерних параметрів сигналу або в перетворенні сигналу у форму, що у деякому змісті більше зручна. Формули класичного чисельного аналізу, такі, як формули для інтерполяції, інтегрування й диференціювання, безумовно є алгоритмами цифрової обробки. Наявність швидкодіючих цифрових ЕОМ сприяє розвитку усе більше складних і раціональних алгоритмів обробки сигналів; останні ж успіхи в технології інтегральних схем обіцяють високу економічність побудови дуже складних систем цифрової обробки сигналів. Цифрова обробка сигналів застосовується в таких різних областях, як біомедицина, акустика, звукова локація, радіолокація, сейсмологія, зв'язок, системи передачі даних, ядерна техніка, і багатьох інших[9].

Цифрова обробка сигналів є альтернативою традиційній аналоговій. До її найважливіших якісних переваг відносять можливість реалізації будь-яких як завгодно складних (оптимальних) алгоритмів обробки з гарантованою і незалежною від дестабілізуючих факторів точністю; програмованість та

функціональна гнучкість; можливість адаптації до сигналів що обробляються; технологічність[10].

Розвиток нової точки зору на цифрову обробку сигналів було прискорено відкриттям в 1965 р. ефективних алгоритмів для обчислень перетворень Фур'є. Цей клас алгоритмів став відомий як швидке перетворення Фур'є. Можливості перетворень Фур'є були значними з декількох точок зору. Багато алгоритмів обробки сигналів, отримані на цифрових ЕОМ, вимагали часу обробки на декілька порядків більше, ніж реальний час. Часто це було пов'язане з тим, що спектральний аналіз був важливою складовою частиною обробки сигналів, а ефективні засоби для його виконання не були відомі. Алгоритм швидкого перетворення Фур'є зменшив час обчислення перетворення Фур'є на кілька порядків. Це дозволило створити дуже складні алгоритми обробки сигналів у реальному часі. Крім того, з урахуванням можливостей дійсної реалізації алгоритму швидкого перетворення Фур'є на спеціалізованому цифровому пристрої, багато алгоритмів обробки сигналів, що були раніше непрактичними, стали знаходити втілення на спеціалізованих пристроях[10].

Методами ЦОС є математичні співвідношення або алгоритми, відповідно до яких виконуються обчислювальні операції над цифровими сигналами. До них належать алгоритми цифрової фільтрації, спектрально-кореляційного аналізу, модуляції та демодуляції сигналів, адаптивної обробки та інше[11].

Засобами реалізації ЦОС є жорстка логіка, програмовані логічні інтегральні схеми, мікропроцесори загального призначення, мікроконтролери, персональні комп'ютери (комп'ютерна обробка сигналів) та цифрові сигнальні процесори.

У технічних галузях знань термін «сигнал» часто використовується в широкому діапазоні значень, без дотримання строгої термінології. Під ним розуміють і технічний засіб (матеріальний носій) для передачі, обігу і використання інформації – електричний, магнітний, оптичний сигнал; і

фізичний процес, що представляє собою матеріальне відображення інформаційного повідомлення – зміна певного параметра носія інформації (напруги, частоти, потужності електромагнітних коливань, інтенсивності світлового потоку тощо) у часі, у просторі або залежно від зміни значень будь-яких інших аргументів (незалежних змінних).

Всі ці поняття можна об'єднати одним технічним терміном: сигнал – це фізична величина, що містить у собі певні відомості про певний об'єкт або процес.

Термін “сигнал” дуже часто ототожнюють із поняттями «дані» і «інформація». Дійсно, ці поняття взаємозалежні і не існують одне без іншого, але відносяться до різних категорій[12].

Термін сигнал у світовій практиці є загальноприйнятим для характеристики форми подання даних, при якій дані розглядаються у вигляді послідовності значень скалярних величин (аналогових, числових, графічних та ін.) залежно від зміни будь-яких змінних значень (часу, енергії, температури, просторових координат, та ін.). З урахуванням цього, надалі під терміном “сигнал” у точному значенні цього слова будемо розуміти певним чином впорядковане відображення певних даних про характер зміни у просторі і часі або за будь-якою іншою зміною фізичних величин, фізичних властивостей або фізичного стану об'єкта досліджень. Так як дані про вимірювання містять інформацію як про основні цільові параметри об'єкта досліджень, так і про різні супутні фактори впливу, то в широкому змісті цього слова можна вважати, що сигнал є відображенням загальної вимірювальної інформації. При цьому матеріальна форма носіїв сигналів, так само як і форма їхнього відображення в будь-якому фізичному процесі, значення не має[12].

Отже, сигнал – це інформаційна функція, що несе повідомлення про фізичні властивості, стан або поведінку будь-якої фізичної системи, об'єкта або середовища, а метою обробки сигналів у самому загальному змісті можна вважати отримання певних інформаційних відомостей, які відображені в цих

сигналах (корисна або цільова інформація) і перетворення цих відомостей у форму, зручну для сприйняття і подальшого використання[13].

Більшість реальних сигналів (наприклад, звукових) є неперервними функціями. Для цифрової обробки таких сигналів їх потрібно перевести в цифрову форму. Один зі способів зробити це – рівномірно по часу виміряти значення сигналу на певному проміжку часу і ввести отримані значення амплітуд. Якщо робити вимірювання досить часто, то за значеннями отриманого дискретного сигналу можна буде досить точно відновити вигляд вихідного неперервного сигналу.

Дискретні сигнали $x_d(t)$ утворюють шляхом множення аналогового сигналу $x(t)$ на так звану функцію дискретизації $y(t)$, яка представляє собою періодичну послідовність коротких імпульсів, що слідує з кроком дискретизації Δt . В ідеальному випадку в якості функції дискретизації використовується періодична послідовність дельта-функцій.

Процес вимірювання величини сигналу через рівні проміжки часу називається рівномірною (за часом) дискретизацією. Багато пристроїв для введення даних здійснюють дискретизацію(рис. 3.1).

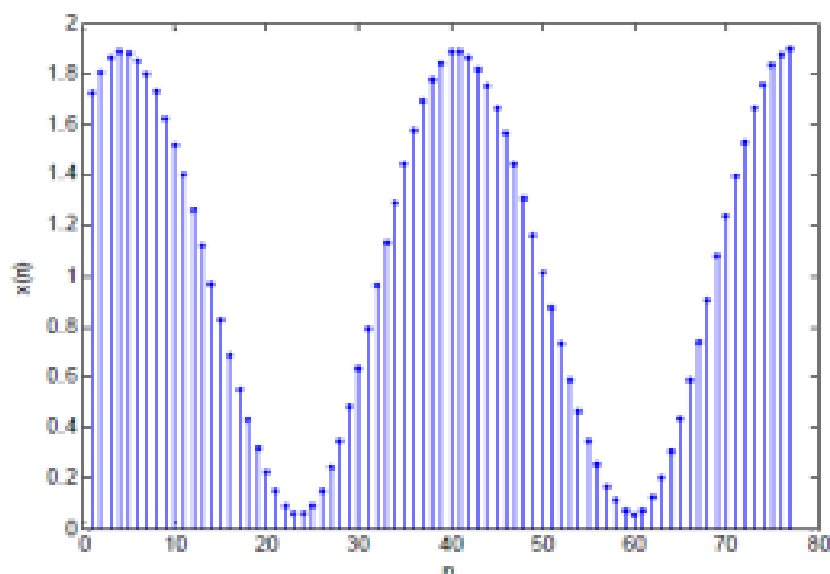


Рисунок 3.1 – Дискретизований сигнал

Наприклад, звукова карта дискретизує сигнал з мікрофона, сканер дискретизує сигнал, що поступає з фотоелемента. У результаті дискретизації безперервний (аналоговий) сигнал перетворюється у послідовність значень. Пристрій, що виконує цей процес, називається аналогово-цифровим перетворювачем (АЦП, analogue-to-digital converter, ADC). Частота, з якою АЦП здійснює вимірювання значень аналогового сигналу і видає його цифрові значення, називається частотою дискретизації(рис. 3.2)[13].

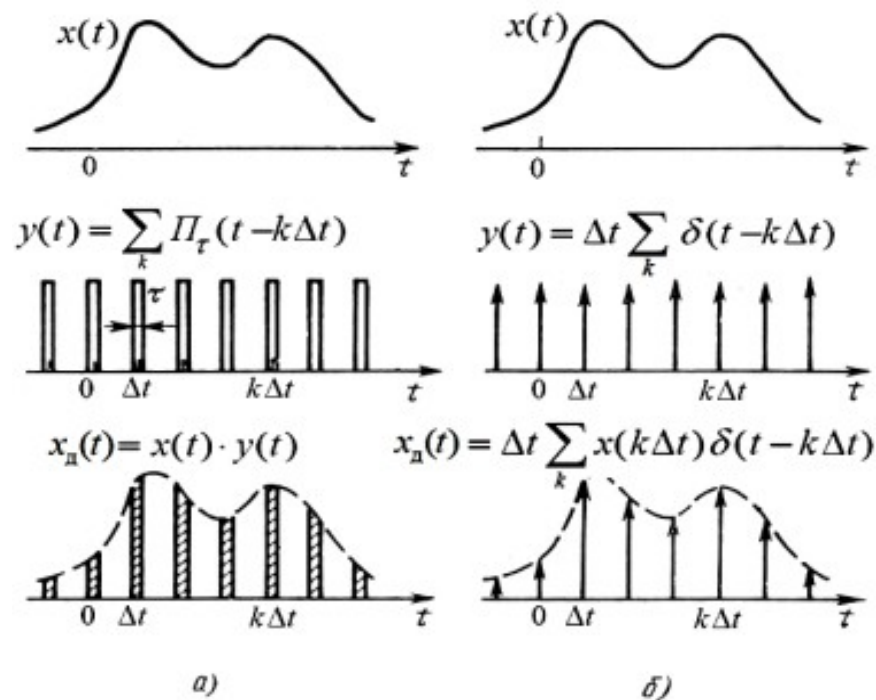


Рисунок 3.2 – Дискретизація сигналу

Інтервал $T = k\Delta t$ називають періодом дискретизації, частотою дискретизації є оберненою величиною:

$$f_n = \frac{1}{T}. \quad (3.1)$$

Значення послідовності в моменти часу nT називають відліками. Дискретний сигнал може бути як дійсним так і комплексним. В останньому випадку його дійсна та уявна частини описуються дійсними послідовностями

$$x(nT) = x_1(nT) + jx_2(nT) \quad (3.2)$$

Математично дискретний сигнал визначають:

- функцією дискретного часу nT : $x(nT) = x(t)|_{t=nT}$, $n = 0, 1, 2, \dots$ що відповідає вибіркам аналогового сигналу в дискретні періодично повторювані моменти часу;
- функцією номера вибірки n : $x(n) = x(nT)|_{T=1}$, що в загальному випадку не пов'язана з часом;
- функцією неперервного часу t :

$$x(t) = x(t)f_{\delta}(t) = x(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT)\delta(t - nT) \quad (3.3)$$

Що отримують множенням аналогового сигналу $x(t)$ на дискретизуючу

функцію $f_{\delta}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT)$ у вигляді періодичної послідовності імпульсів з періодом, що є рівним:

$$\delta(t - nT) = \begin{cases} \infty, & t = nT \\ 0, & t \neq nT \end{cases} \quad (3.4)$$

Графічно дискретні сигнали представляються функцією номера вибірки n або дискретного часу nT (рис. 3.3)[14].

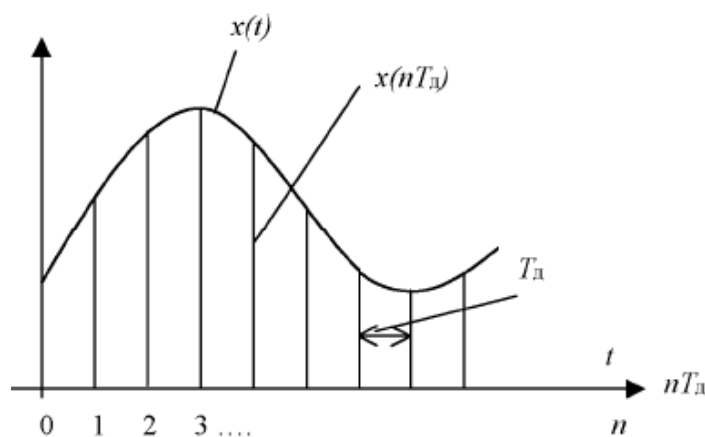


Рисунок 3.3 – Графік неперервного $x(t)$ та дискретного $x(nT)$ сигналу

3.2 Дискретизація сигналів

У першій половині XX століття при реєстрації та обробці інформації використовувалися, здебільшого, вимірювальні прилади і пристрої аналогового типу, що працюють у реальному масштабі часу, при цьому навіть для величин, дискретних у силу своєї природи, застосовувалося перетворення дискретних сигналів в аналогову форму. Положення змінилося з широким поширенням мікропроцесорної техніки та ЕОМ. Цифрова реєстрація та обробка інформації виявилася більш досконалою, точною, універсальною та гнучкою. Потужність і водночас простота цифрової обробки сигналів настільки переважають аналогову, що перетворення аналогових по природі сигналів у цифрову форму давно стало виробничим стандартом. - 5 - Під дискретизацією сигналів розуміють перетворення функцій неперервних змінних у функції дискретних змінних, за якими вихідні неперервні функції можуть бути відновлені із заданою точністю. Роль відліків виконують квантовані значення функцій у дискретній шкалі координат. Під квантуванням розуміють перетворення неперервної за значеннями величини у величину з дискретною шкалою значень з кінцевої множини дозволених, які називають рівнями квантування. Якщо рівні квантування нумеровані, то результатом перетворення є число, що може бути виражене в будь-якій числовій системі[15].

3.3 Дискретне перетворення сигналів

Крім звичного подання сигналів і функцій у вигляді залежності їх значень від певних аргументів (часу, лінійної або просторової координати тощо) при аналізі й обробці даних широко використовується математичний опис сигналів по аргументах. Можливість такого опису визначається тим, що будь-який як завгодно складний за своєю формою сигнал, що не має нескінченних значень на своєму інтервалі, можна представити у вигляді суми

більше простих сигналів, і, зокрема, у вигляді суми найпростіших гармонійних коливань, що виконується за допомогою перетворення Фур'є. Відповідно, математично розкладання сигналу на гармонічні складові описується функціями значень амплітуд і початкових фаз коливань по неперервному або дискретному аргументі. Сукупність амплітуд гармонічних коливань розкладання називають амплітудним спектром сигналу, а сукупність початкових фаз – фазовим спектром. Обидва спектри разом утворюють повний частотний спектр сигналу, що по точності математичного подання тотожний динамічній формі опису сигналу.

Крім гармонічного ряду Фур'є, застосовуються й інші види розкладання сигналів: по функціях Уолша, Адамара, Вейвлета та інших, крім того, існують розкладання по поліномах Чебишева, Лаггера, Лежандра та інших. У ЦОС широко використовується дискретне перетворення Фур'є (ДПФ, discrete Fourier transform) і алгоритм його швидкого обчислення – швидке перетворення Фур'є (ШПФ). Вони дозволяють адекватно описувати в частотних координатах всі, крім самих миттєвих (< 1 с) сигналів; усічені по частоті Фур'є-компоненти описують дані більш правдоподібно, ніж будь-які інші степеневі ряди.

3.4 Дискретне перетворення Фур'є

Перетворення Фур'є використовується в багатьох галузях науки – в фізиці, теорії чисел, комбінаториці, обробці сигналів, теорії ймовірності, статистиці, криптографії, акустиці, океанології, оптиці, геометрії, та багатьох інших. При обробці сигналів різної природи перетворення Фур'є звичайно розглядається як трансформація сигналу з часової ділянки в частотну.

Дискретне перетворення Фур'є грає важливу роль при аналізі, синтезі та розробці систем та алгоритмів цифрової обробки сигналів. Одна з причин того, що аналіз Фур'є грає таку важливу роль в цифровій обробці сигналів, полягає в існуванні ефективних алгоритмів дискретного перетворення Фур'є.

Дискретне перетворення Фур'є(ДПФ) — це математична процедура, що використовується для визначення гармонічного, або частотного, складу дискретних сигналів. ДПФ є однією з найбільш розповсюджених і потужних процедур цифрової обробки сигналів. ДПФ дозволяє аналізувати, перетворювати і синтезувати сигнали такими способами, які неможливі при неперервній (аналоговій) обробці[15].

3.5 Швидке перетворення Фур'є

Швидке перетворення Фур'є — швидкий алгоритм обчислення дискретного перетворення Фур'є. Якщо для прямого обчислення дискретного перетворення Фур'є з N точок даних потрібно $O(N^2)$ арифметичних операцій, то FFT дозволяє обчислити такий же результат використовуючи $O(N \log N)$ операцій. Алгоритм часто використовується для цифрової обробки сигналів для перетворення дискретних даних з часового у частотний діапазон[16].

Знаходження спектральних складових дискретного комплексного сигналу безпосередньо по формулі дискретного перетворення Фур'є вимагає комплексних множень і комплексних додавань. Оскільки кількість обчислень, і час обчислень приблизно пропорційні, то при великих значеннях N кількість арифметичних операцій дуже велика. Тому знаходження спектру в реальному часі навіть для сучасної обчислювальної техніки є складним завданням.

З цієї причини представляють значний інтерес обчислювальні процедури, які зменшують кількість N множень і складань. Основний принцип усіх цих алгоритмів полягає в розкладанні операцій обчислення дискретного перетворення Фур'є сигналу довжини на обчислення перетворень Фур'є з меншим числом точок. Розділивши аналізований набір відліків на частини, обчислюють їх дискретне перетворення Фур'є і

об'єднують результати. Такі процедури дістали назву алгоритмів швидкого перетворення Фур'є (ШПФ).

При реалізації ШПФ можливі декілька варіантів організації обчислень залежно від способу ділення послідовності відліків на частини (проріджування за часом або по частоті) і від того, на скільки фрагментів розбивається послідовність на кожному кроці (основа ШПФ). Ми виділяємо короткий кадр (інтервал) композиції, що складається з дискретних відліків, який умовно вважаємо періодичним і застосовуємо до нього перетворення Фур'є. В результаті перетворення отримуємо масив комплексних чисел, що містить інформацію про амплітудний і фазовий спектри аналізованого кадру. Причому спектри також є дискретними з кроком рівним (частота дискретизації)/(кількість відліків). Тобто чим більше ми беремо відліків, тим більш точно отримуємо дозвіл по частоті. Однак при постійній частоті дискретизації збільшуючи число відліків, ми збільшуємо аналізований часовий інтервал, а оскільки в реальних музичних творах ноти мають різну тривалість звучання і можуть швидко змінювати один одного, відбувається їх накладення, тому амплітуда тривалих нот «затмарює» собою амплітуду коротких. З іншого боку для гітарних тюнерів такий спосіб збільшення роздільної здатності по частоті підходить добре, оскільки нота, як правило, звучить довго і одна [16].

Існує також досить простий трюк для збільшення роздільної здатності по частоті — потрібно вихідний дискретний сигнал заповнити нулями між відліками. Однак у результаті такого заповнення сильно спотворюється фазовий спектр, але зате збільшується дозвіл амплітудного. Також можливе застосування фільтрів Фарроу і штучне збільшення частоти дискретизації, однак і воно вносить спотворення в спектри.

Тривалість кадру зазвичай становить приблизно від 30 мс до 1 ц. Чим він коротший, тим краще дозвіл ми отримуємо по часу, але гірше за частотою, ніж семпл довше, тим краще по частоті, але гірше за часом. Це дуже нагадує принцип невизначеності Гейзенберга з квантової механіки,

співвідношення невизначеностей у квантовій механіці в математичному сенсі є прямий наслідок властивостей перетворення Фур'є[17].

3.6 Віконне перетворення Фур'є

Віконне перетворення Фур'є — це трансформація Фур'є, що застосовується для визначення синусоїдної частоти та вмісту фази локальної секції сигналу, що має властивість змінюватись в часі.

Класичне перетворення Фур'є враховує спектр сигналу, який взято у всьому діапазоні існування змінної. Найчастіше інтереси зосереджуються тільки на локальному розподілі частот, у той час коли необхідно зберегти первинну змінну (зазвичай час). У цьому випадку використовується узагальнене перетворення Фур'є, так зване віконне перетворення Фур'є[18].

4 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ МУЗИЧНИХ ЖАНРІВ ТА ВИКОНАВЦІВ

4.1 Поняття алгоритму та основні елементи блок-схеми

Алгоритм — набір інструкцій, які описують порядок дій виконавця, щоб досягти результату розв'язання задачі за скінченну кількість дій; система правил виконання дискретного процесу, яка досягає поставленої мети за скінченний час. Для візуалізації алгоритмів часто використовують блок-схеми[19].

Кожен алгоритм передбачає існування початкових (вхідних) даних та в результаті роботи призводить до отримання певного результату. Робота кожного алгоритму відбувається шляхом виконання послідовності деяких елементарних дій. Ці дії називають кроками, а процес їхнього виконання називають алгоритмічним процесом. В такий спосіб відзначають властивість дискретності алгоритму[19].

Важливою властивістю алгоритмів є масовість, або можливість застосування до різних вхідних даних. Тобто, кожен алгоритм покликаний розв'язувати клас однотипних задач (рис 4.1).

Необхідною умовою, яка задовольняє алгоритм, є детермінованість, або визначеність. Це означає, що виконання команд алгоритму відбувається у єдиний спосіб та призводить до однакового результату для однакових вхідних даних[19].

Вхідні дані алгоритму можуть бути обмежені набором припустимих вхідних даних. Застосування алгоритму до неприпустимих вхідних даних може призводити до того, що алгоритм ніколи не зупиниться, або потрапить в тупиковий стан (зависання) з якого не зможе продовжити виконання.

Для комп'ютерних програм алгоритм є списком деталізованих інструкцій, що реалізують процес обчислення, який, починаючи з

початкового стану, відбувається через послідовність логічних станів, яка завершується кінцевим станом. Перехід з попереднього до наступного стану не обов'язково детермінований — деякі алгоритми можуть містити елементи випадковості.

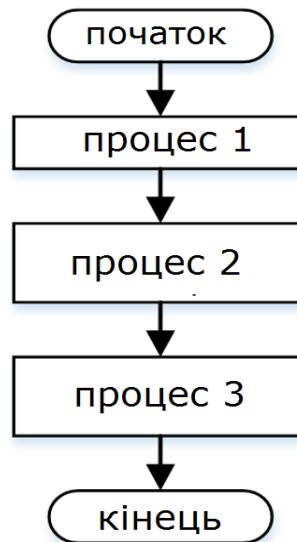


Рисунок 4.1 – Блок-схема лінійного алгоритму

Блок-схема — представлення алгоритму розв'язування або аналізу задачі за допомогою геометричних елементів (блоків), які позначають операції, потік, дані тощо. Блок-схема з розгалужуванням (рис. 4.2)[20].

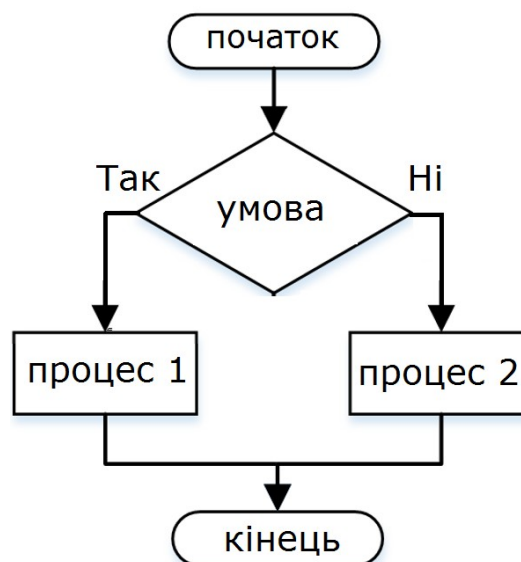


Рисунок 4.2 – Алгоритм з розгалужуванням

Блок вхідних та вихідних даних прийнято позначати паралелограмом, блок обчислень (обробки) даних — прямокутником, блок прийняття рішень — ромбом, еліпсом — початок та кінець алгоритму. Приклад блок-схеми цикл з параметром (рис 4.3)[20].

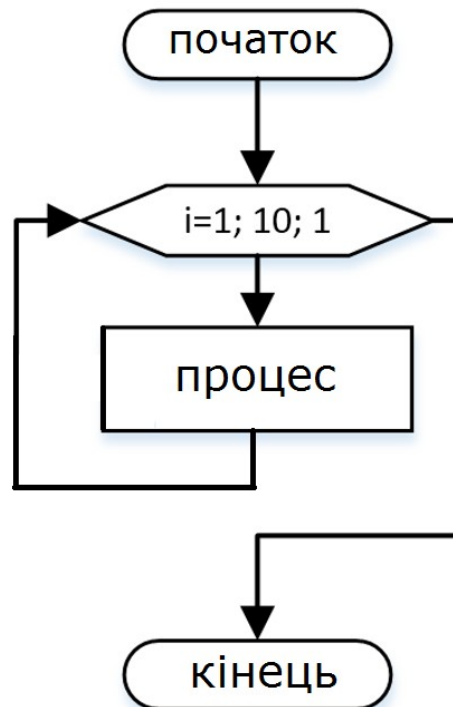


Рисунок 4.3 – Блок-схема цикл з параметром

Схема машини, приладу, апарата, пристрою, в якій основні вузли (блоки), що утворюють її, зображено прямокутниками та іншими фігурами, а зв'язок між ними показано лініями зі стрілками.

У автоматичній функціональній схемі, або блок-схемі САР, складається з функціональних блоків, які являють собою конструктивно відособлені частини (елементи або пристрої) автоматичних систем, які виконують певні функції. Функціональні блоки на схемі позначають прямокутниками, всередині яких надписують їх найменування відповідно до функцій, що

виконуються. Зв'язки між функціональними блоками (внутрішні впливи) позначаються лініями зі стрілками, які вказують напрям впливів[20].

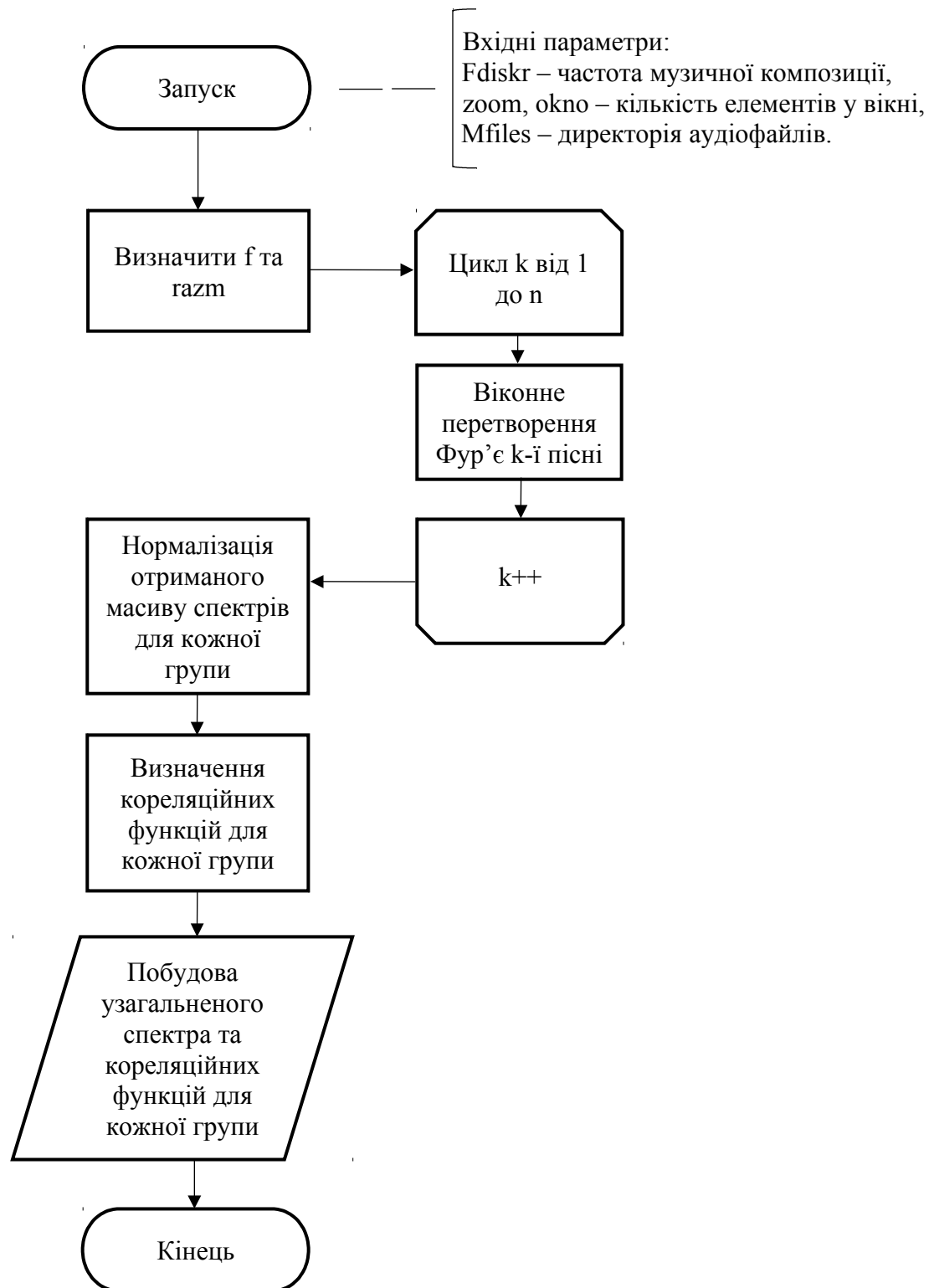
Функціональні схеми можуть виконуватися в укрупненому і розгорненому вигляді. У першому випадку на схемі зображають найважливіші блоки системи і зв'язки між ними.

У другому варіанті схема зображуються більш детально, що полегшує її читання та ілюструє принцип роботи. Основні елементи схем алгоритму представленні у табл. 4.1[20].

Таблиця 4.1 – Основні елементи схем алгоритму

Найменування	Позначення	Функція
Термінатор		Елемент відображає вхід у зовнішнє середовище або вихід з нього (найчастіше застосування - початок і кінець програми). Всередині фігури записується відповідна дія.
Процес		Елемент відображає одну або кількох операцій, обробку даних будь-якого виду (зміна значення даних, форми подання, розташування). Всередині фігури записують безпосередньо самі операції.
Рішення		Елемент відображає обробку умови, рішення.
Дані		Елемент відображає перетворення у форму, придатну для обробки (введення) або відображення результатів обробки (виведення). Цей символ не визначає носія даних.
Межа циклу		Елемент складається з двох частин - відповідно, початок і кінець циклу - операції, що виконуються всередині циклу, розміщуються між ними.
З'єднувач		Елемент відображає вихід в частину схеми і вхід з іншої частини цієї схеми.
Коментар		Елемент використовується для детальнішої інформації про кроки, процесу або групи процесів.

4.2 Блок-схема алгоритму



4.3 Розробка коду програми спектрально-кореляційного аналізу

Команда `clc` - очищає командне вікно від усього, надаючи чисте вікно. Після використання `clc`, не має можливості переглядати історію функцій. Команда `clear all` - видаляє всі змінні з робочого простору, тим самим звільняючи пам'ять[21].

```
clc
clear all
```

Записуємо в змінну `Fdiskr` частоту аудіофайлів, 44100 Гц, `zoom` змінна, яка відповідає за масштаб та `okno`, змінна, яка відповідає за розмір вікна.

```
Fdiskr = 44100;
zoom = 16;
okno = 32768;
```

Встановлюємо розмірність `razm` та `f`.

```
razm = okno/(2*zoom);
f=Fdiskr*(0:(razm-1))/okno;
```

Віконне перетворення Фур'є, побудова одновимірної амплітудної спектру Фур'є на основі віконного перетворення Фур'є. Розмір `odnomermassiv` повинен перевищувати розмір вікна. `Length(X)` – функція яка повертає розмір найбільшого простору `X` масиву, для векторів це просто кількість елементів. Довжина порожнього масиву дорівнює нулю[21].

Декларуємо функцію `winsf`, та її вихідні дані в `y`, вхідні дані `odnomermassiv` – масив семплів треку, який отримуємо після використання функції `audioread`, `okno` – розмір вікна[21].

```
function y = winsf(odnomermassiv,okno)
```

`Ntochek` – розмір масиву.

```
Ntochek = length(odnomermassiv);
```

Nsteps – кількість вікон в масиві, округлена до меншого цілого числа за допомогою функції floor. Floor(X) – округляє кожний елемент X до найближчого цілого числа[21].

Nsteps=floor(Ntochek/okno);

Цикл for, виконує групу операцій в циклі, зазначену кількість разів в end – кінець циклу[21].

Функція fft(X), розраховує дискретне перетворення Фур'є X(вектор, масив) використовуючи швидке перетворення Фур'є. Функція sum(X), сумує вектор, в результаті отримуємо число. Вираз spektrprom(:,m), відображає m-ну колонку матриці spektrprom, якщо записати навпаки, буде відображати n-ий рядок. Функція max(X) повертає найбільший елемент масиву[21].

Матриця spektrprom – отримуємо спектр на основі віконного перетворення Фур'є, сумуємо спектри, та нормалізуємо вихідний масив у.

```
for k = 1:Nsteps
    for n=(okno*(k-1)+1):(okno*k)
        masprom(n-(okno*(k-1)))=odnomermassiv(n);
    end;
    preobrmasprom=fft(masprom,okno);
    spektrprom(k,:)=preobrmasprom.*conj(preobrmasprom)/okno;
end;

for m=1:okno
    y(m)=sum(spektrprom(:,m));
end;
y=y/(max(y));
```

Функція dir повертає лист файлів та папок в директорії. Назва каталогу списків файлів та папок, що відповідають назві. Коли назва - це папка, dir перераховує вміст папки. Вкажіть ім'я, використовуючи абсолютні або відносні назви шляхів. Аргумент імені може містити символ * у назві файлу та символи * і ** у назві шляху. Символи поряд з символом ** повинні бути

роздільниками файлів. Функція winsf повертає узагальнений спектр аудіофайлу. Знак % – одностроковий коментар[21].

Сумуємо кожний аудіофайл, нормуємо, отримуємо узагальнені спектри для кожної групи виконавців – MSr.

% first folder

```
Mfiles1 = dir('C:\Users\see\Desktop\f1\*.wav');
for k=1:length(Mfiles1)
    fileNameM=['C:\Users\see\Desktop\f1\' Mfiles1(k).name];
    M1(k,:)=winsf(audioread(fileNameM),okno);
end;
for n=1:okno
    MSr1(n)=sum(M1(:,n));
end;
MSr1=MSr1/(max(MSr1));
```

% second folder

```
Mfiles2 = dir('C:\Users\see\Desktop\f2\*.wav');
for k=1:length(Mfiles2)
    fileNameM=['C:\Users\see\Desktop\f2\' Mfiles2(k).name];
    M2(k,:)=winsf(audioread(fileNameM),okno);
end;
for n=1:okno
    MSr2(n)=sum(M2(:,n));
end;
MSr2=MSr2/(max(MSr2));
```

% third folder

```
Mfiles3 = dir('C:\Users\see\Desktop\f3\*.wav');
for k=1:length(Mfiles3)
    fileNameM=['C:\Users\see\Desktop\f3\' Mfiles3(k).name];
    M3(k,:)=winsf(audioread(fileNameM),okno);
end;
for n=1:okno
    MSr3(n)=sum(M3(:,n));
end;
MSr3=MSr3/(max(MSr3));
```

```
%final test folder
```

```
Mfiles4 = dir('C:\Users\see\Desktop\f4\*.wav');
for k=1:length(Mfiles4)
    fileNameM=['C:\Users\see\Desktop\f4\' Mfiles4(k).name];
    M4(k,:)=winsf(audioread(fileNameM),okno);
end;
for n=1:okno
    MSr4(n)=sum(M4(:,n));
end;
MSr4=MSr4/(max(MSr4));
```

Різниця узагальнених спектрів груп, була отримана з ціллю чітко виявити голосові та інструментальні частоти.

```
diff12 = MSr1(1:razm) - MSr2(1:razm);
diff13 = MSr1(1:razm) - MSr3(1:razm);
diff23 = MSr2(1:razm) - MSr3(1:razm);
```

Кореляція — у статистиці залежність або пов'язаність є будь-яким статистичним відношенням, чи каузальним, чи ні, між двома випадковими величинами або біваріантними даними. Кореляція будь-яким з широкого класу статистичним відношенням, де є залежність, хоча зазвичай про кореляцію говорять тоді, коли дві величини перебувають між собою у лінійному відношенні. При цьому, зміна однієї або кількох цих величин призводить до систематичної зміни іншої або інших величин. Знайомими прикладами залежних феноменів є кореляція між фізичними параметрами батьків та їхніх дітей і кореляція між попитом на товар і його ціною.

Користь кореляцій у тому, що вони можуть вказувати на відношення, яке може носити передбачальний характер і тому мати практичне застосування. Наприклад, електрогенеруюча компанія може виробляти менше електрики у періоди з хорошою погодою, базуючись на кореляції між попитом на електрику та погодою. У цьому випадку існує причинно-наслідковий зв'язок, тому що в екстремальну погоду люди використовують більше електрики для опалювання або охолодження. Однак зазвичай самої лише наявності кореляції недостатньо для того, щоб зробити висновок про

наявність причинно-наслідкового зв'язку (що часто формулюють фразою "Кореляція не означає причинності").

Кореляція може бути позитивною та негативною (можлива також ситуація відсутності статистичного зв'язку — наприклад, для незалежних випадкових величин). Від'ємна кореляція — кореляція, при якій збільшення однієї змінної пов'язане зі зменшенням іншої, при цьому коефіцієнт кореляції від'ємний. Додатна кореляція — кореляція, при якій збільшення однієї змінної пов'язане зі збільшенням іншої, при цьому коефіцієнт кореляції додатний.

Функція `xcorr` - повертає крос-кореляцію двох дискретних послідовностей часу, x і y . Крос-кореляція вимірює подібність між x і зміщеними (відсталими) копіями y як функцією відставання. Якщо x та y мають різну довжину, функція додає нулі в кінець коротшого вектору, тому вона він однаковою довжину, $N[21]$.

Отримаємо крос-кореляцію кожної групи з кожною, в результаті отримаємо 3 масиви розмірністю `razm`. Нормалізуємо масиви. Функція `abs(X)`, повертає абсолютне значення кожного елемента в масиві $X[21]$.

```
C1 = xcorr(MSr1(1:razm),MSr3(1:razm));
C2 = xcorr(MSr1(1:razm),MSr2(1:razm));
C3 = xcorr(MSr2(1:razm),MSr3(1:razm));
% norm
C1_New = C1./max(abs(C1(:)));
C2_New = C2./max(abs(C2(:)));
C3_New = C3./max(abs(C3(:)));
```

Функція `figure` створює нове вікно фігури, використовуючи значення властивості за замовчуванням. Отримана фігура є поточною фігурою. Функція `plot(X,Y)` створює 2-D лінійний графік даних в Y у порівнянні з відповідними значеннями X . Функція `grid on` — повертає сітку. Функція `title('X')` — де X назва графіку.

Будуємо узагальнені спектри частот кожної групи, спектрально-кореляційні графіки груп та різницю узагальнених спектрів груп[21].

```
figure; plot(f,MSr4(1:razm)); grid; title('скай');
```

```
figure; plot(f,diff12); grid; title('ОЕ - ОБК');
```

```
figure; plot(f,diff13); grid; title('ОЕ - СКАЙ');
```

```
figure; plot(f,diff23); grid; title('ОБК - СКАЙ');
```

```
figure; plot(f,MSr1(1:razm)); grid; title('ОЕ');
```

```
figure; plot(f,MSr2(1:razm)); grid; title('ОБК');
```

```
figure; plot(f,MSr3(1:razm)); grid; title('СКАЙ');
```

```
figure; plot(C1_New); grid; title('Кореляція між ОЕ та СКАЙ');
```

```
figure; plot(C2_New); grid; title('Кореляція між ОЕ та ОБК');
```

```
figure; plot(C3_New); grid; title('Кореляція між ОБК та СКАЙ');
```

5 СПЕКТРАЛЬНИЙ ТА КОРЕЛЯЦІЙНО-СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ МУЗИЧНИХ ЖАНРІВ ТА ВИКОНАВЦІВ

5.1 Аналіз за допомогою перетворення Фур'є

Важливо розуміти, коли ми беремося аналізувати реальний сигнал за допомогою перетворення Фур'є, ми ідеалізуємо ситуацію і виходимо з припущення, що він періодичний на поточному часовому інтервалі і складається з елементарних синусоїд. Найчастіше це саме так, оскільки акустичні сигнали, як правило, мають гармонійну природу, але взагалі можливі й більш складні випадки. Будь-які наші припущення про природу сигналу зазвичай ведуть до часткових спотворень і погрешностей, але без цього виділити корисну інформацію з нього вкрай складно[17].

Оскільки аналоговий сигнал математично складається з нескінченного безперервного в часі множини точок значень амплітуди, в процесі вимірювання ми можемо виділити з нього лише кінцевий ряд значень в дискретні моменти часу, тобто, по суті, виконати квантування за часом.

Як правило, значення-відліки беруться через невеликі рівні часові проміжки, тобто з певною частотою, наприклад, 16000 або 22000 Гц. Однак у загальному випадку дискретні відліки можуть йти і нерівномірно, але це ускладнює математичний апарат аналізу, тому на практиці звичайно не застосовується.

Насиченість треку певними частотами досить індивідуальна, але при цьому схожа для подібних композицій, наприклад хіп-поп або іншій напрямок музики буде давати схожу картину «насиченості» треку на рівні окремих частот[22].

Таким чином завдання зводиться до виділення деякої інформації про частоти, яка показує:

- як часто в композиції звучить звук з даного діапазону частот;
- як довго він звучав.

І так для кожного певного діапазону частот (потрібно розбити весь «чутний» спектр на певне число діапазонів)[22].

5.2 Оцінка та аналіз вибору виконавців та їх жанру

Зважаючи на завдання, та попередні отримані результати роботи алгоритму на тестовій вибірці музичних творів та пісень, жанрів, тощо, було вирішено обрати виконавців українських рок-гуртів сучасності.

Було проаналізовано група виконавців жанру рок, кілька альбомів кожного виконавця та обрано, на основі аналізу групи з пісень кожного виконавця[23].

Виконавці здебільшого співають по одинці, не гуртом, що дає змогу у майбутньому, при подальшому аналізі виділити голос та набір інструментів у піснях. Характеристики виконавців їх жанр, назва та гендерна приналежність представлені нижче у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Характеристики виконавців

	Один в каное	Океан Ельзи	СКАЙ
Жанр	Рок		
Стать/голос	жіночий	чоловічий	

Двоє з виконавців чоловіки, один гурт з жіночим виконавцем. Пісні обирались пильно, бралось до уваги схожість по милозвучності, темпу – аналізувалося суб’єктивно на думку автора.

5.3 Узагальнений спектральний аналіз

Використовуючи віконне перетворення Фур’є була проаналізована група пісень, трьох різних гуртів одного жанру. З кожної групи був складений узагальнений спектр частот. На графіках ось ординат відповідає

частотам звуку, ось абсциса відповідає інтенсивності, або іншими словами, насиченості перебування кожної частоти у треку(пісні).

Графік для узагальненого спектрального аналізу одного твору групи «СКАЙ», який в подальшому буде використовуватися як тестовий (рис 5.1). Бачимо що у треку переважають низькі частоти, масштабуємо графік по осі ординат до 1400 Гц, далі використовуємо такі ж параметри для всіх груп.

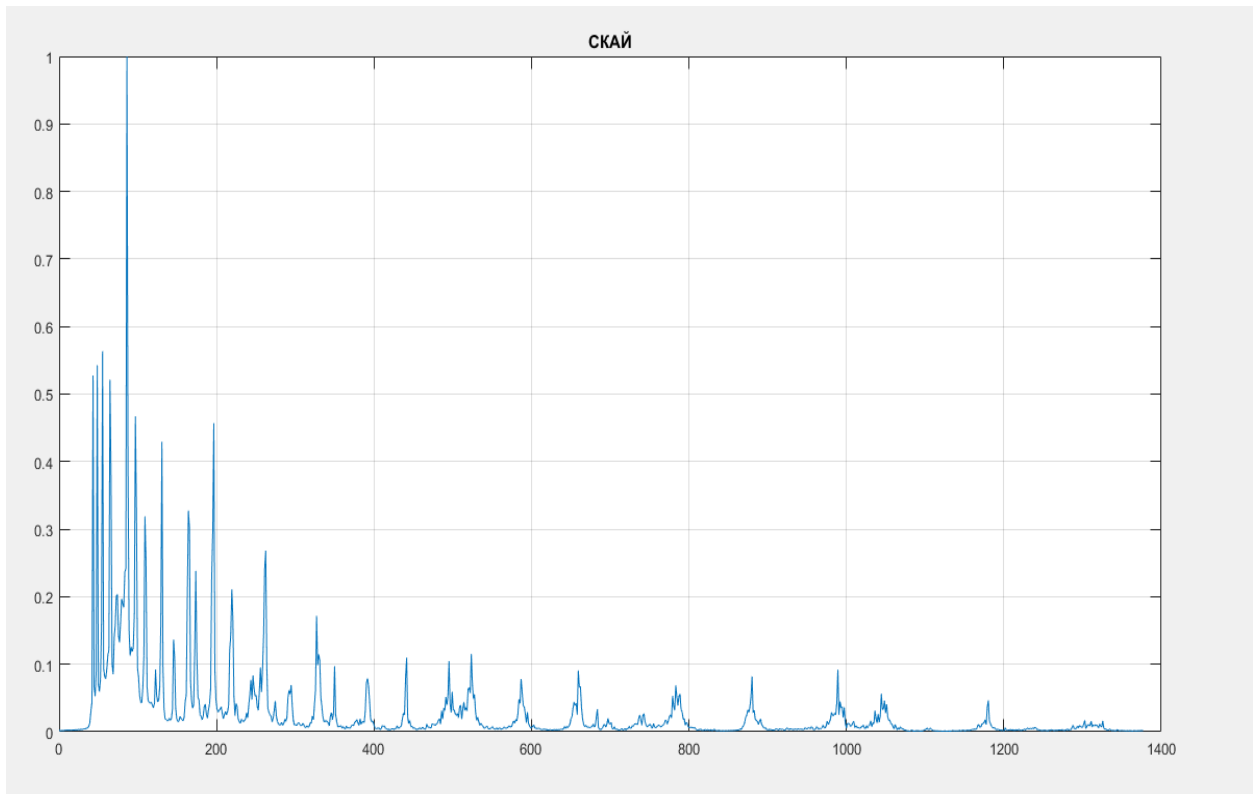


Рисунок 5.1 – Узагальнений спектр одного твору групи «СКАЙ»

Графік для узагальненого спектрального аналізу одного твору групи «Один в каное» (рис 5.2), який в подальшому буде використовуватися як тестовий.

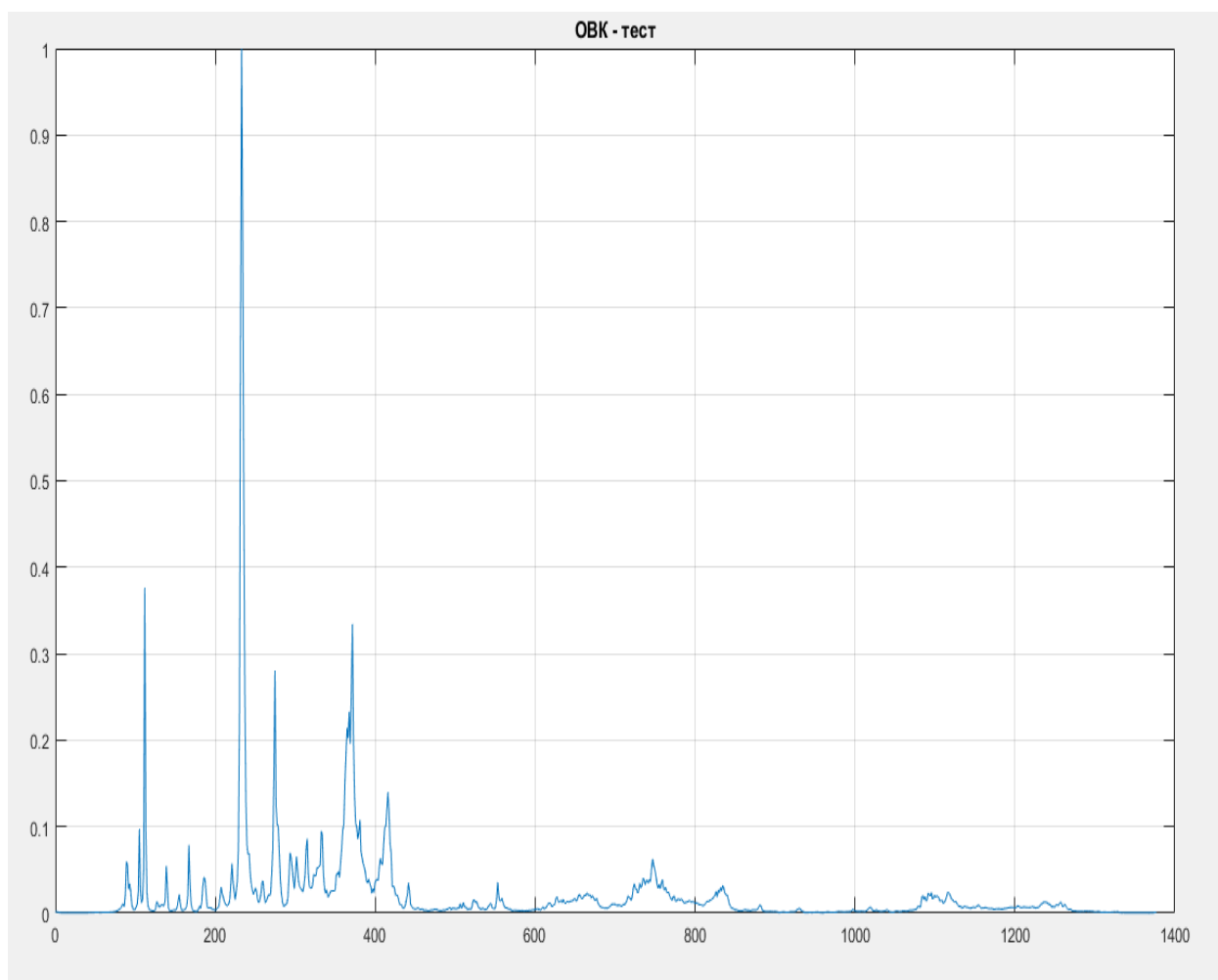


Рисунок 5.2 – Узагальнений спектр групи «Один в каное», тестовий зразок

Бачимо невелику насиченість різними частотами, у пісні використовується переважно один, чи кілька інструментів та голос виконавця 220-230 Гц, інші сплески – декілька інструментів, які використовуються в творі: гітара та барабан – це сплески на рівнях 100, 250-260, 380 та 430 Гц, приблизно.

Графік для узагальненого спектрального аналізу одного твору групи «Океан Ельзи», який в подальшому буде використовуватися як тестовий зображено на рис 5.3.

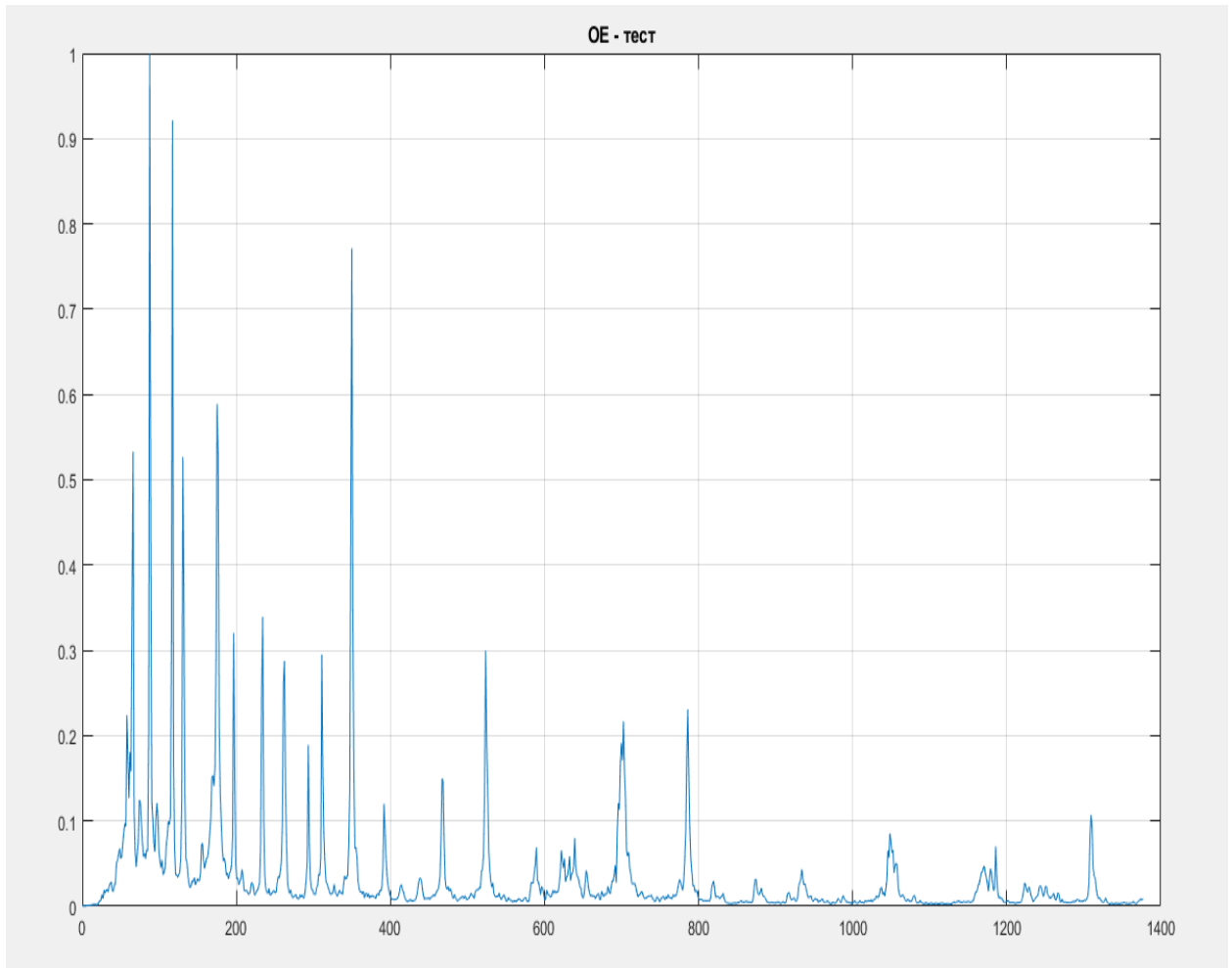


Рисунок 5.3 – Узагальнений спектр групи «Океан Ельзи», тестовий зразок

Бачимо невелику насиченість різними частотами, у пісні використовується багато різноманітних інструментів, більше 16 сплесків на різних частотах враховуючи голос виконавця приблизно рівень 100 Гц.

Нижче, представлено узагальнений спектральний аналіз групи «Один в каное»(рис. 5.4).

Для кожної групи пісень, пісні обирались з увагою до стилістичних жанрів, інструментів.

Далі, представлено результат для групи «Океан Ельзи»(рис. 5.5). Останнім представлено узагальнений спектральний аналіз для групи «СКАЙ» зображено на рис. 5.6.

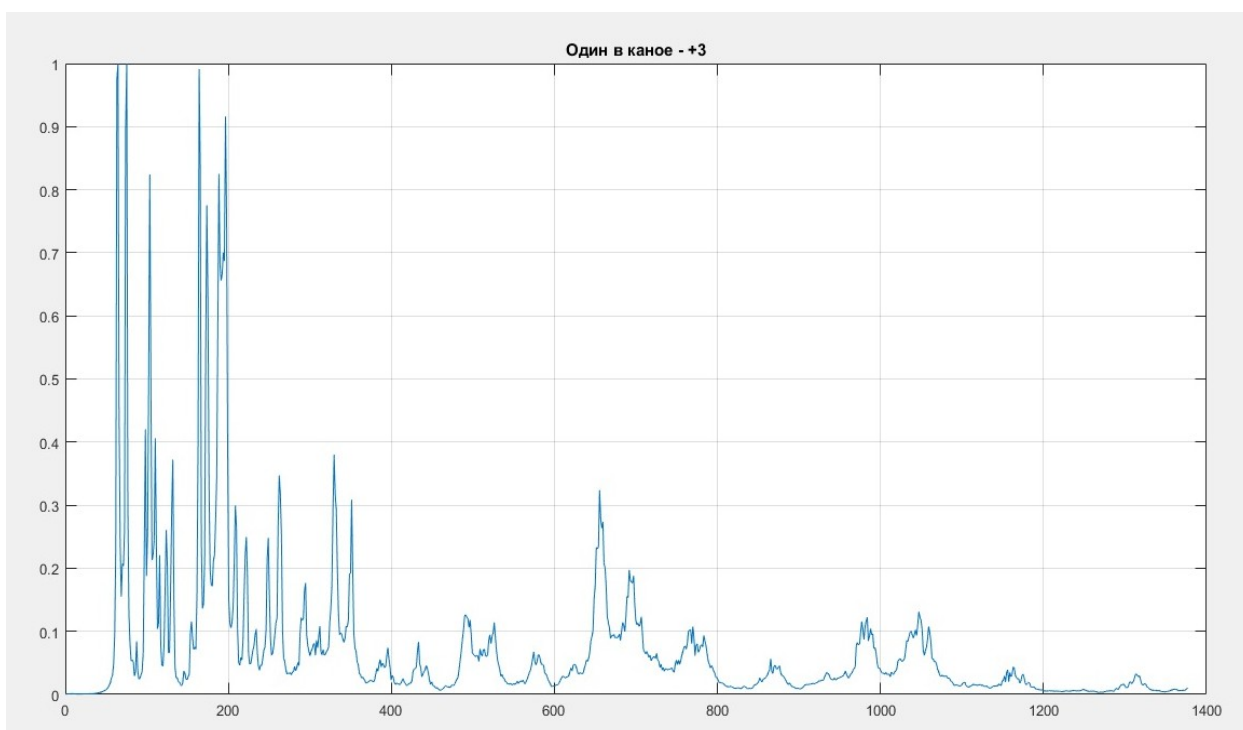


Рисунок 5.4 – Узагальнений спектр гурту «Один в каное»

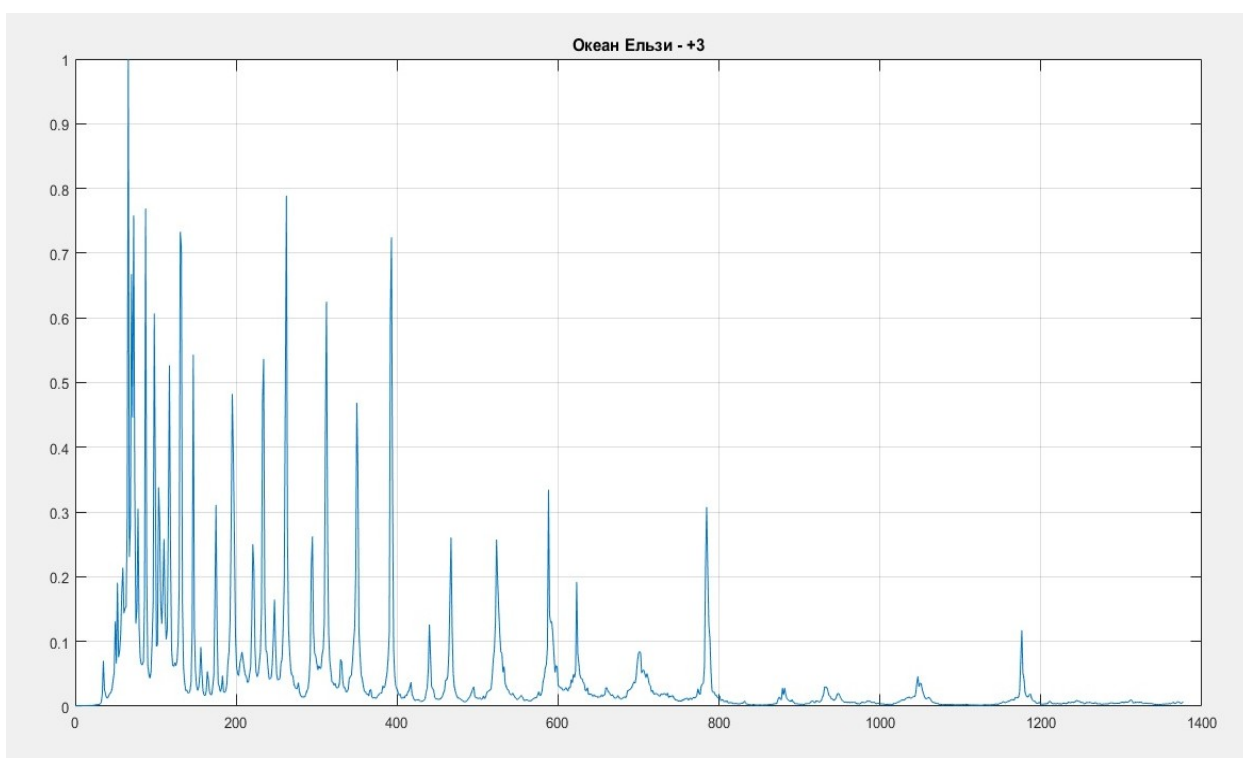


Рисунок 5.5 – Узагальнений спектр гурту «Океан Ельзи»

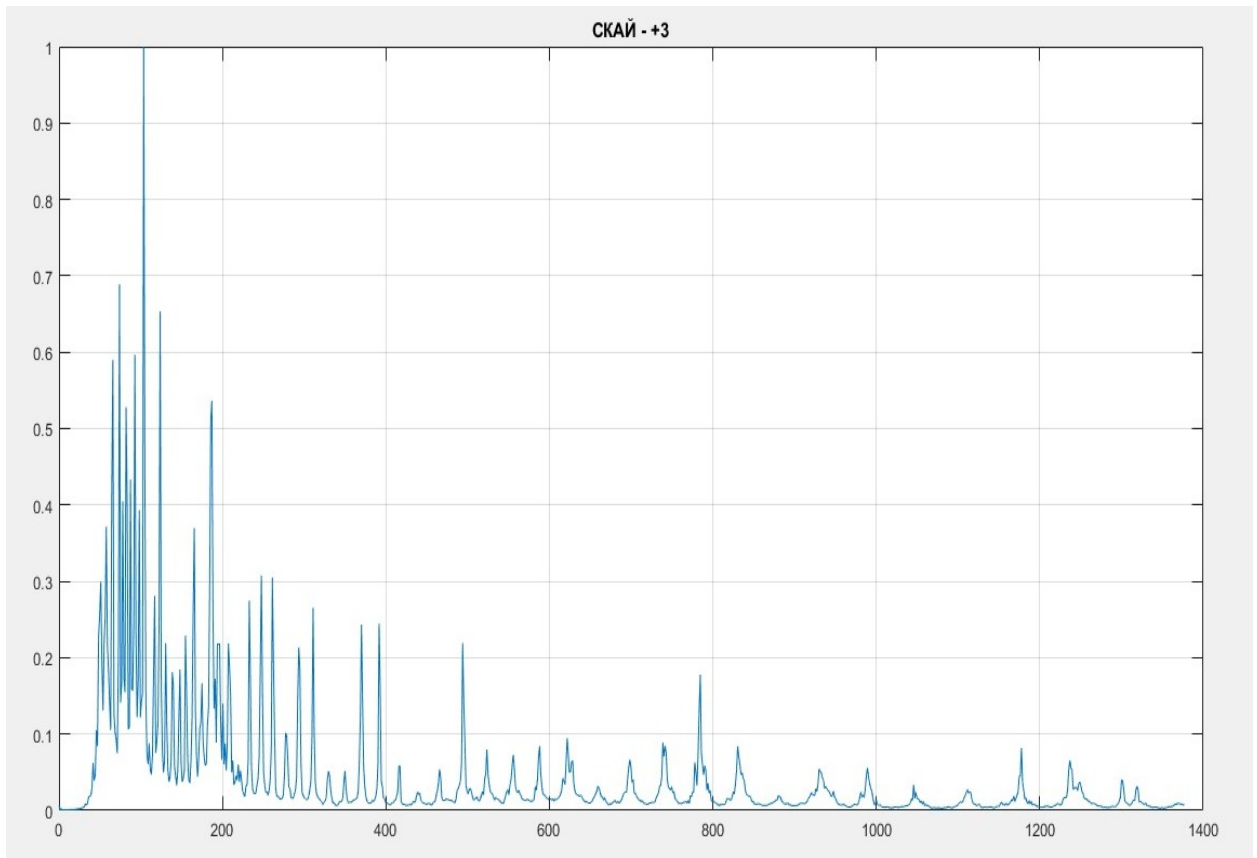


Рисунок 5.6 – Узагальнений спектр гурту «СКАЙ»

Самий насичений інструментами, серед аналізованих груп є гурт «СКАЙ», кількість сплесків, які характеризують різні інструменти, чи переходи цих інструментів у кілька разів вища за гурт «Один в каное». Голос виконавця, виходячи з того що голос виконавця повинен займати рівень насиченості більше 0.5 – 0.6, такі сплески знаходиться на рівні 85-185 Гц, тобто приблизно 100 Гц, є голосом виконавця гурту «СКАЙ» у цій виборці пісень[24].

На власне узагальнених спектрах або інтегральному спектрі нам доступна енергетика спектра яка знаходиться в діапазоні людських голосів і інструментів і, якщо відомі інструменти та їх спектри в цьому творі, то є можливість виділити власне людський голос(голос виконавця).

5.4 Кореляційно-спектральний аналіз

На основі спектрального аналізу був проведений кореляційно-спектральний аналіз. Були розраховані автокореляційні функції для кожної пісні з тестової групи, розрахована автокореляційна функція для тестової пісні гурту «Океан Ельзи» зображена на рис. 5.7, автокореляція для тестової пісні гурту «Один в каное» зображена на рис 5.8 та автокореляція для тестової пісні гурту «СКАЙ» зображена на рис. 5.9.

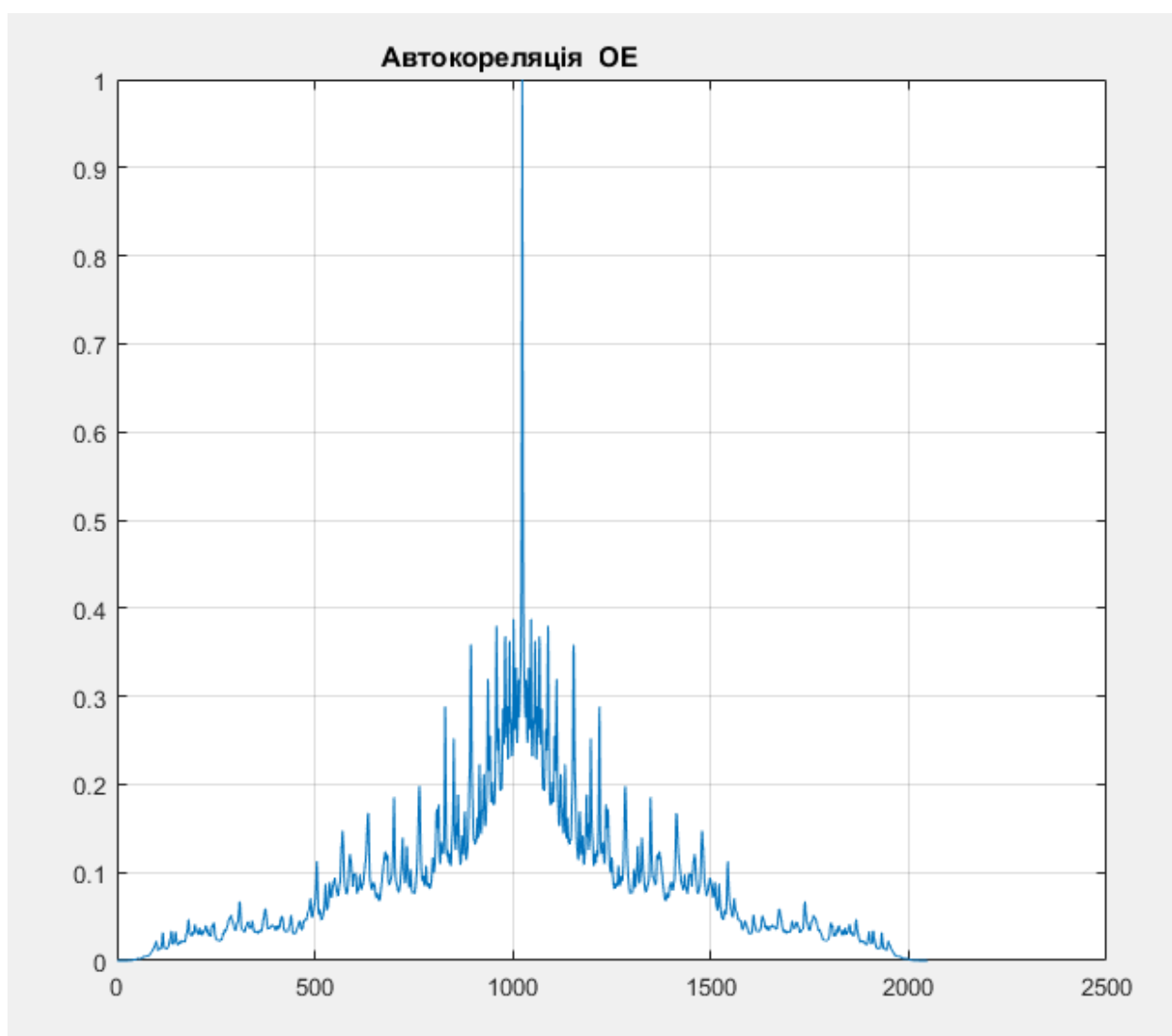


Рисунок 5.7 – Автокореляція «Океан Ельзи»

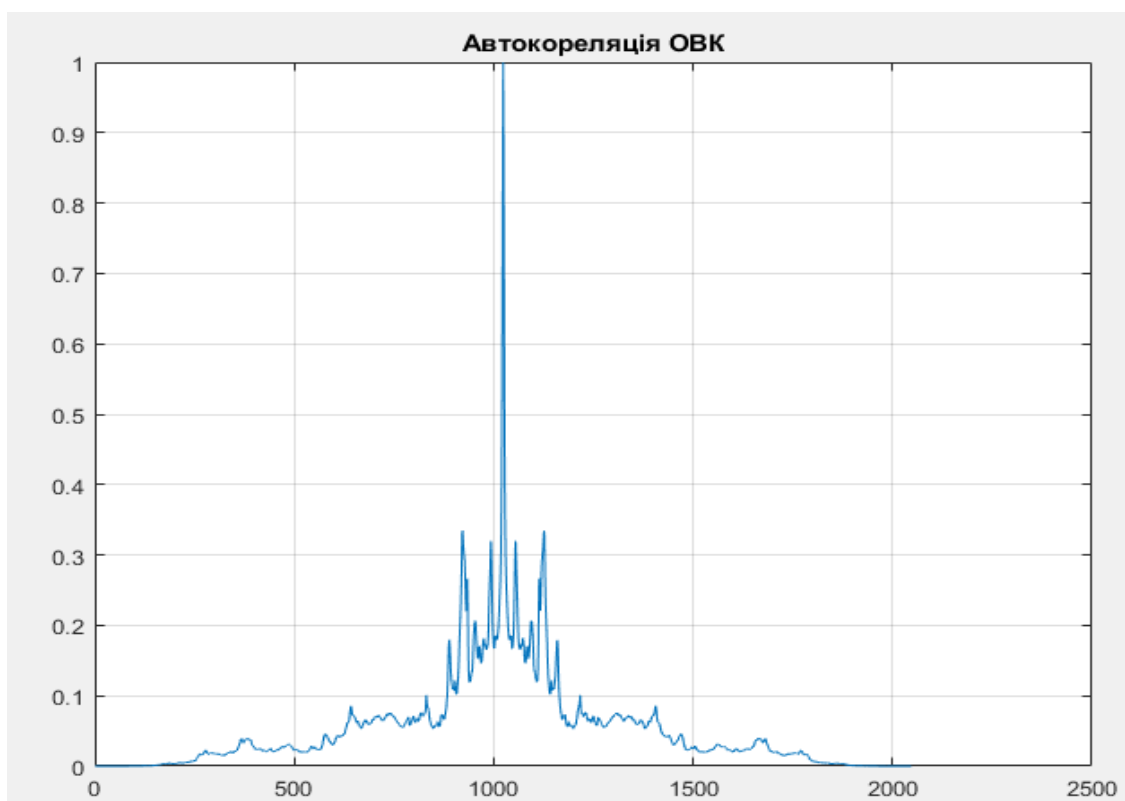


Рисунок 5.8 – Автокореляція «Один в каное»

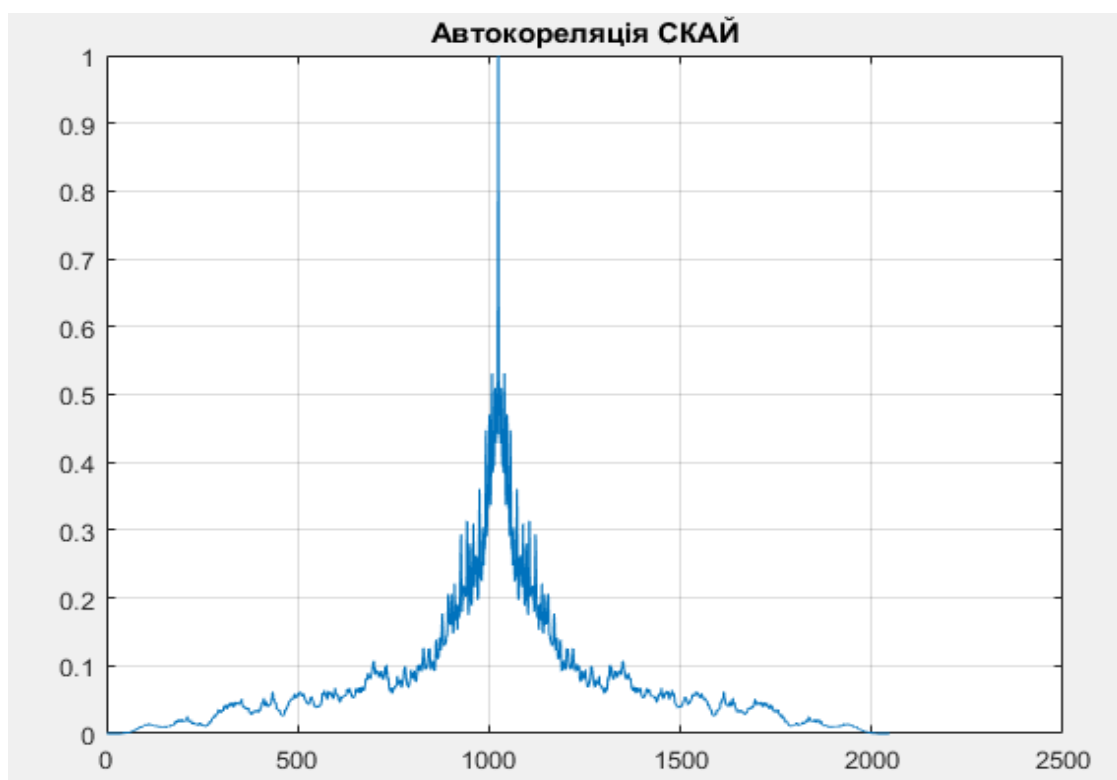


Рисунок 5.9 – Автокореляція «СКАЙ»

Кореляційно-спектральний аналіз між «Океан Ельзи» та «СКАЙ» зображений на рис. 5.10. Бачимо що дві групи досить помітно корелюють, на основі цього можна припустити що дві групи входять в один жанр, мають більш-менш подібний набір інструментів та голос. Нажаль «Один в каное» так «Океан Ельзи» корелює на так помітно, як попередні групи. Причинами можуть бути, як і жіночий голос, так і можлива різниця в жанрі (рис. 5.11). Така ж ситуація залишається з групою «Один в каное» та «СКАЙ», різниця лише в ще меншій подібності першого з другим, що пов'язано з різницею в стилі виконання пісень.

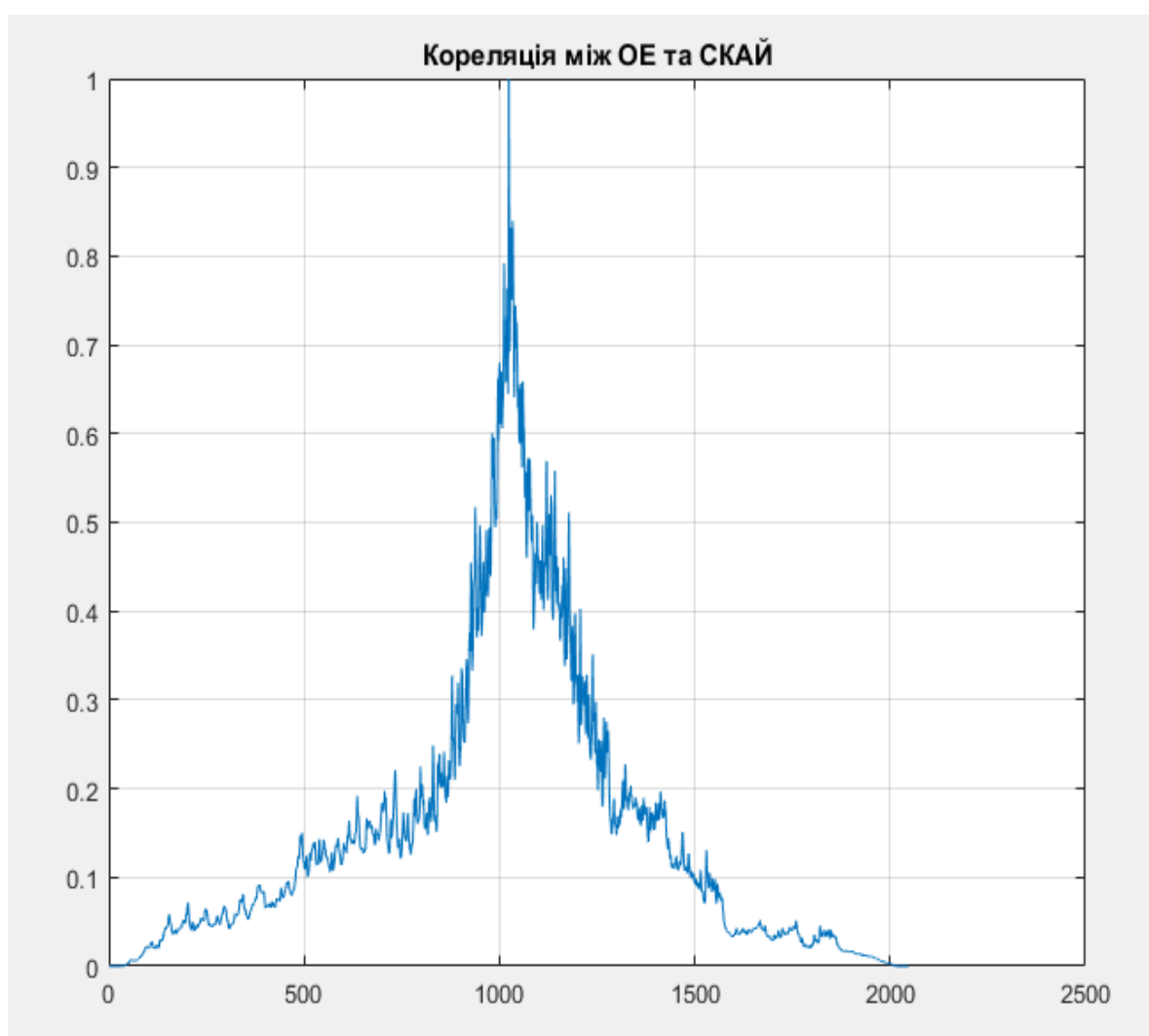


Рисунок 5.10 – Кореляція між «Океан Ельзи» та «СКАЙ»

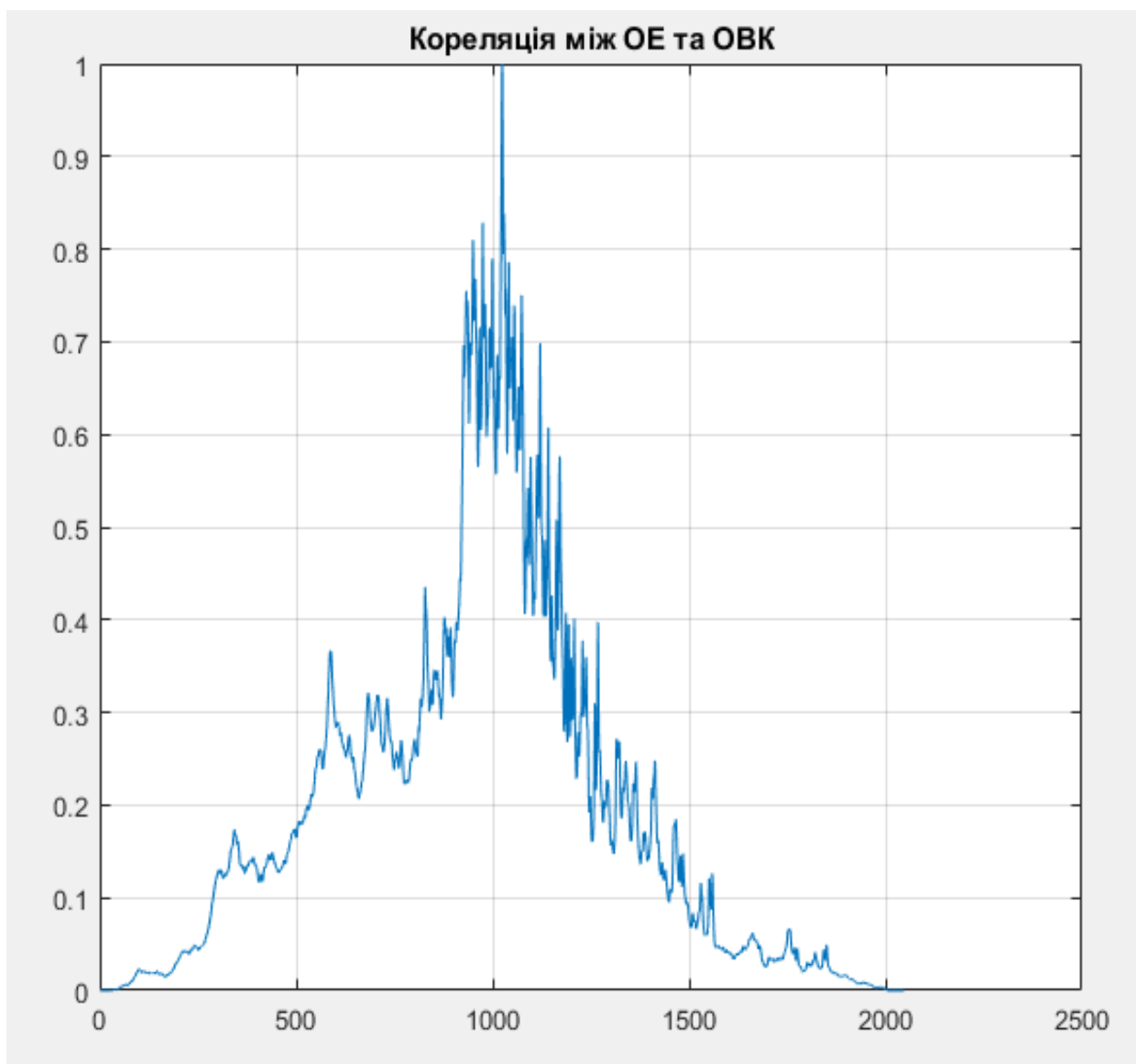


Рисунок 5.11 – Кореляція між «Океан Ельзи» та «Один в каное»

Аналізуючи кореляційні функції для кожної з групи виконавців, можна зробити висновок, що використовуючи одну групу, та її узагальнений спектральний аналіз як еталонну, і обчислюючи взаємну кореляційну функцію з ним інших груп творів можна їх ідентифікувати, за умови, якщо вони відносяться до одного жанру, стилю виконання, мають приблизно однаковий набір інструментів. Чи навпаки, можна зі стовідсотковою впевненістю сказати, що групи пісень чи виконавців не корелюють та належать до різних жанрів, різних виконавців, мають різний набір

інструментів. В цілому кореляційний аналіз дає змогу чітко відповісти на питання чи належить ця група, чи пісня до цього класу пісень або жанрів. Кореляція «Один в каное» та «СКАЙ» (рис. 5.12).

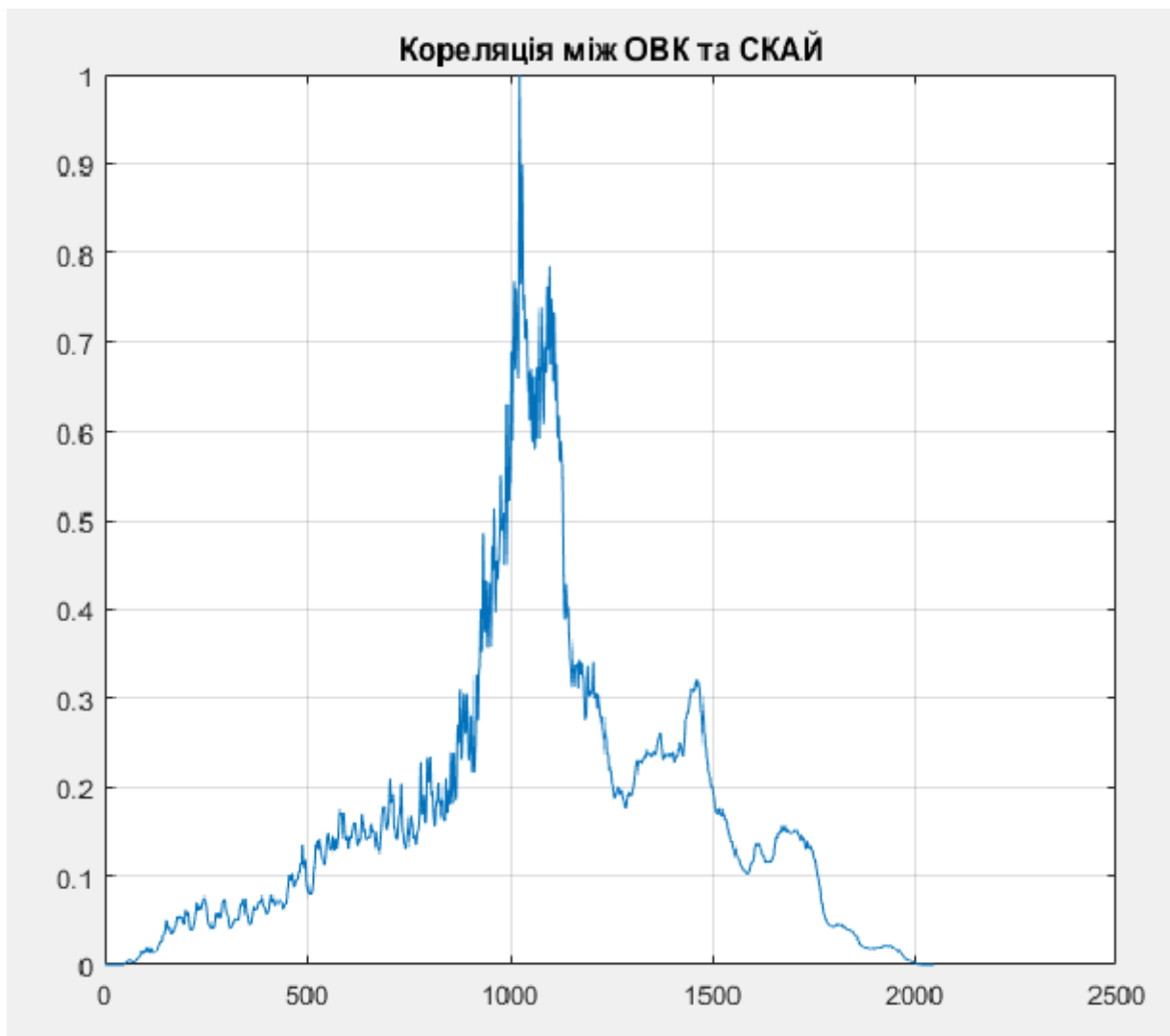


Рисунок 5.12 – Кореляція між «Один в каное» та «СКАЙ»

Розраховуємо кореляційну функцію для групи «СКАЙ» та тестового зразку. Еталоном візьмемо групу пісень гурту «СКАЙ». Аналізуючи графік, бачимо подібність, на 1200 бачимо сплеск, припустимо, що це новий інструмент у тестовій пісні, який відсутній у групі, яка використовувалась для узагальненого спектрального аналізу. Пісні можна віднести до одного жанру та одного виконавця (рис. 5.13), що так і є.



Рисунок 5.13 – Кореляція між групою пісень «СКАЙ» та еталонною піснею

Розраховуємо кореляційну функцію для групи «Один в каное» та тестового зразку. Еталоном візьмемо групу пісень гурту «Один в каное». Аналізуючи графік, бачимо кілька сплесків.

По графіку бачимо подібність, але слабку, чим з попереднім результатом «СКАЙ», можливо причина в тому, що гурт має велику різноманітність стилів всередині жанру виконавця (рис. 5.14).

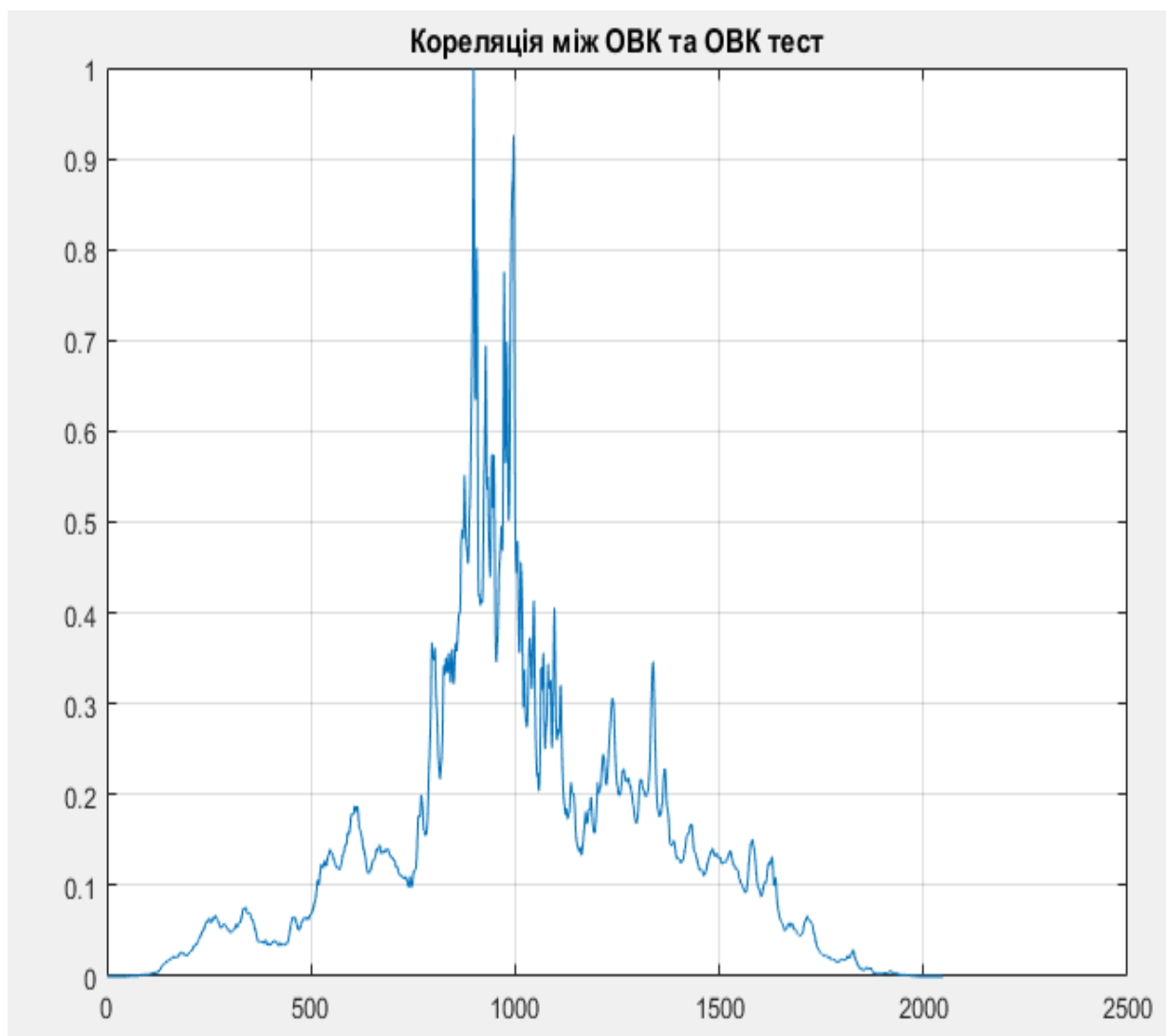


Рисунок 5.14 – Кореляція між групою пісень «Один в каное» та тестовою піснею

Розраховуємо кореляційну функцію для групи «Океан Ельзи» та тестового зразку. Еталоном візьмемо групу пісень гурту «Океан Ельзи». Аналізуючи графік, бачимо кілька сплесків.

Розраховуємо кореляційну функцію для групи «Океан Ельзи» та тестового зразку. По графіку бачимо подібність, але більш слабку, чим зі «СКАЙ», можливо причина в тому, що пісня має невелику різницю в стилі ніж еталонна група. Пісню можна віднести до одного жанру та одного виконавця(рис. 5.15).

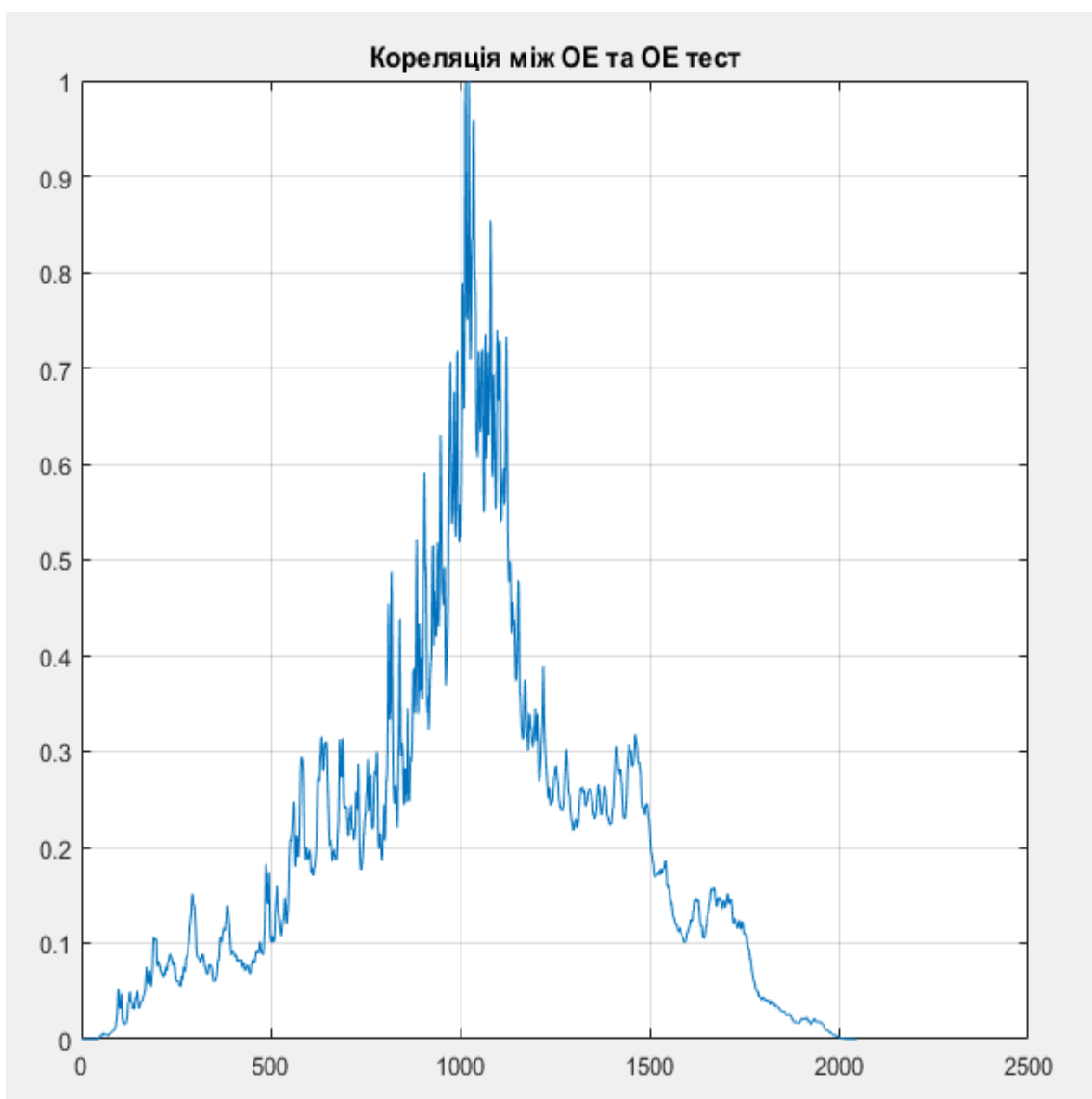


Рисунок 5.15 – Кореляція між групою пісень «Океан Ельзи» та тестовою піснею.

Виходячи з отриманих результатів, можна зробити висновок, що використовуючи один із творів як еталонний, і обчислюючи взаємну кореляційну функцію з ним інших творів можна їх ідентифікувати. І чітко відповісти на питання чи належить ця група, чи пісня до цього класу пісень або жанрів, якщо є опорний сигнал, на основі якого можна провести аналіз і побачити подібність або різницю.

ВИСНОВКИ

Використовуючи середу розробки Matlab були отриманні наступні результати:

- було проаналізовано групи пісень 3-х авторів;
- було отримано узагальнений спектр 3-х різних виконавців, та виявлені індивідуальні характеристики.

На графіках (рисунок 5.1 – 5.6) бачимо узагальнений спектральний аналіз, на якому бачимо які частоти переважають на всій ділянці треку. У всіх треках переважно переважає голос виконавця на всій ділянці треку. Для отримання більш чіткого спектру вікно мало розмір в 32768 семплів. При використанні вікна меншого розміру більші частоти починають з'їдати сусідні, та спектр втрачає свою роздільну здатність.

Використовуючи один із творів як еталонний, і обчислюючи взаємну кореляційну функцію з ним інших творів можна їх ідентифікувати. Можна здійснити ідентифікацію творів які входять в цей клас. Є опорний сигнал, на основі якого можна провести аналіз і побачити подібність.

На основі спектрограми можна здійснити розпізнавання музичного твору. Спектрограма дозволяє визначити час існування певних частотних, спектральних компонент на основі яких можна провести індексування, скласти ознаки розпізнавання, виділити маркери[25].

На власне узагальнених спектрах або інтегральному спектрі нам доступна енергетика спектра яка знаходиться в діапазоні людських голосів і інструментів і, якщо відомі інструменти та їх спектри в цьому творі, то є можливість виділити власне людський голос(голос виконавця).

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Способин И.В. Элементарная теория музыки – 1-е – Москва, 1962. 202 с.
2. Вахромеев В.А. Элементарная теория музыки – 2-е – Москва, 1962. 248 с.
3. Мала українська музична енциклопедія / Осип Залевський. — Мюнхен: Дніпрова хвиля, 1971. 125 с.
4. Юцевич Ю. Є. Музыка : словник-довідник. — Тернопіль : Навчальна книга — Богдан, 2003. 125 с.
5. Музыка двадцатого століття – С. Павлишин; Львів. держ. муз. акад. ім. М.Лисенка. - Л. : БаК, 2005. 232 с.
6. Colles, Henry Cope (1978). The Growth of Music: A Study in Musical History, 4th ed., London ; New York: Oxford University Press
7. Словник музичної термінології — К. : Інститут енциклопедичних досліджень, . 112 с.
8. Алдошина И., Приттс Р. Музыкальная акустика. Учебник. — СПб.: Композитор, 2006. 720 с.
9. Дахнович А. А. Дискретные системы и цифровая обработка сигналов: учебное пособие / А. А. Дахнович. — Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. 100с.
10. Глинченко А. С. Цифровая обработка сигналов / А. С. Глинченко. — Красноярск: Изд-во КГТУ, 2001. 199с.
11. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. — 2-е. — Спб : Питер, 2006. 751 с.
12. Ричард Лайонс Цифровая обработка сигналов. — 2-е. — Москва : Бином, 2006. 656 с.
13. Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. Изд. 2-е, испр. — М.: Техносфера, 2007. 856 с.

14. Воеводин В. В. Матрицы и вычисления / В. В. Воеводин. – М.: Наука, 1984. 320 с.
15. Функції комплексної змінної. Перетворення Фур'є та Лапласа : / Я. І. Дасюк, В.; Ін-т змісту і методів навчання. – Л., 1999. 271 с.
16. Bracewell, R. N. (2000), The Fourier Transform and Its Applications (3rd ed.), Boston: McGraw-Hill.
17. Перетворення Фур'є. URL: <http://it-ua.info/news/2015/01/06/peretvorenniya-fur-v-d-tochne-viznachennya-chastoti-signalu-vidlennya-not.html> (дата звернення 10.12.2017)
18. Jont B. Allen (June 1977). Short Time Spectral Analysis, Synthesis, and Modification by Discrete Fourier Transform. IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing. ASSP-25 (3). 235–238 с.
19. Niklaus E. Wirth Algorithms + Data Structures = Programs. — 1-e. — Prentice Hall, 1976. 366 с.
20. ISO 5807:1985 (1985). Information processing -- ISO 5807:1985. — міжнародний стандарт блок-схем.
21. ДСТУ ISO 5807:2016 Оброблення інформації. Символи та угоди щодо документації стосовно даних, програм та системних блок-схем (ISO 5807:1985, IDT)
22. Greenspan D. Introduction to Numerical Analysis and Applications / D. Greenspan. – Markham, Chicago, 1971. 176 p.
23. Документація до MATLAB. URL: <https://www.mathworks.com/help/> (дата звернення 20.11.2017)
24. Аналіз музичної складової. URL: <http://victoria.lviv.ua/wosserman/rozdil1.htm> (дата звернення 5.12.2017)
25. Основи спектрального аналізу звуків. URL: <http://pandia.org/text/77/481/644.php> (дата звернення 20.12.2017)

«Спектральний аналіз музичних жанрів та виконавців»

Виконав: Коритнюк М.І.

Керівник: Перелігін Б.В.



Рисунок А.1 – Тема магістерської роботи

Мета роботи полягає:

- В аналізі та виявленні, якщо можливо, індивідуальних характеристик, маркерів та шаблонів на основі спектрального та кореляційного аналізу пісень різних виконавців в одному жанрі, використовуючи віконне перетворення Фур'є.

Рисунок А.2 – Мета роботи

Задачі

- Вибір жанру, авторів та пісень;
- Створення алгоритму та програми спектрального аналізу;
- Побудова узагальненого спектру для пісень кожної групи виконавців;
- Побудова узагальненого спектру для тестового набору пісень;
- Розрахунок кореляційних функцій між групами виконавців та тестовими зразками.
- Порівняння частотних характеристик для виявлення індивідуальних маркерів;

Рисунок А.3 – Задачі роботи

Діапазони голосів людини

№	Октава	Частота, Гц	Голос людини яка має можливість відтворювати подібні ноти
1	Контроктава	32,703 до 65,406	Бас-профундо
2	Велика октава	65,406 до 130,81	Бас
3	Мала октава	130,81 до 261,63	Бас-баритон
4	Перша октава	261,63 до 523,25	Баритон
5	Друга октава	523,25 до 1046,5	Тенор
6	Третя октава	1046,5 до 2093,0	Контратенор

Рисунок А.4 – Діапазони голосів людини

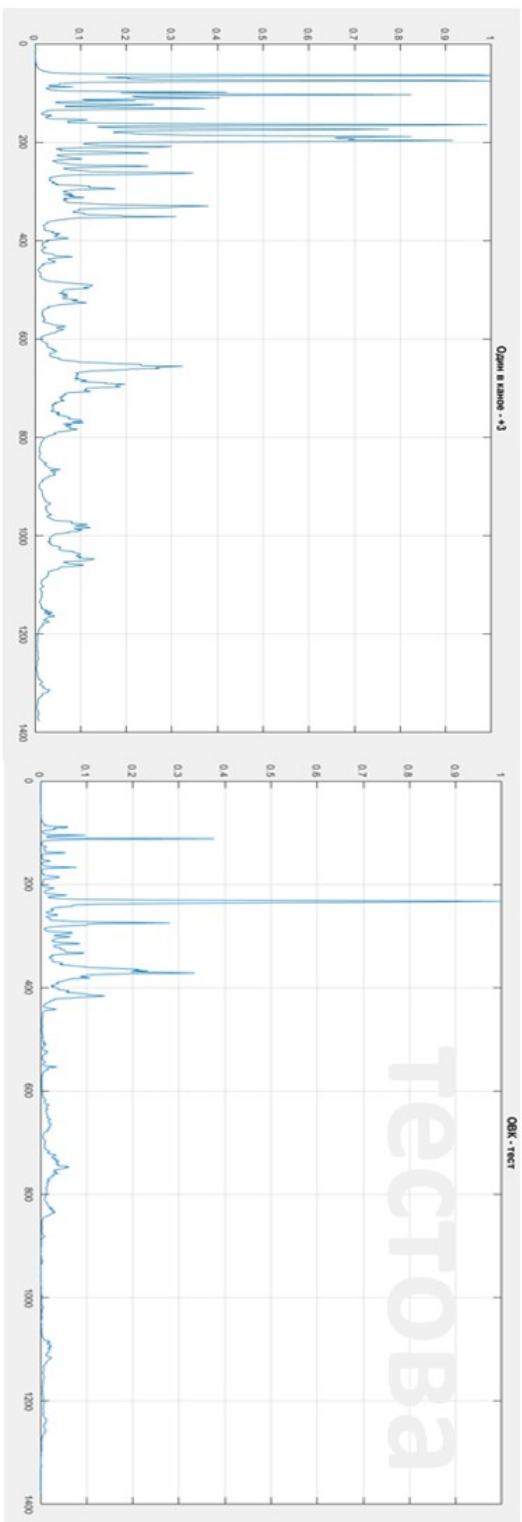
ТИПИ ГОЛОСІВ ЛЮДЕЙ

	Жіночі	Дітячі	Чоловічі
Високі	Сопрано	Дискант	Тенор
Середні	Меццо-сопрано	Альт	Баритон
Низькі	Контральто	-	Бас

Рисунок А.5 – Типи голосів людини

Узагальнений спектральний аналіз для групи пісень гурту «Один в каное» та його тестової пісні

Група пісень

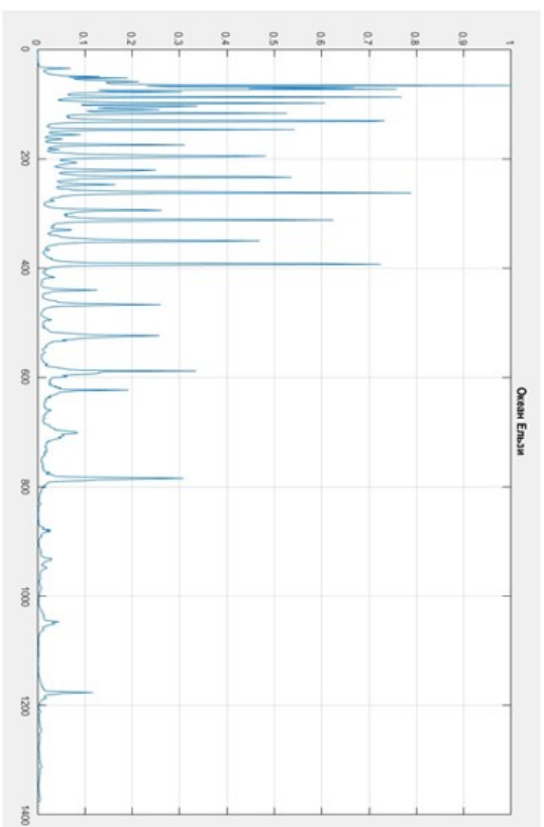


тестова пісня

Рисунок А.6 – Узагальнений спектральний аналіз для гурту «Один в каное»

Узагальнений спектральний аналіз для групи пісень гурту «Океан Ельзи» та його тестової пісні

Група пісень



тестова пісня

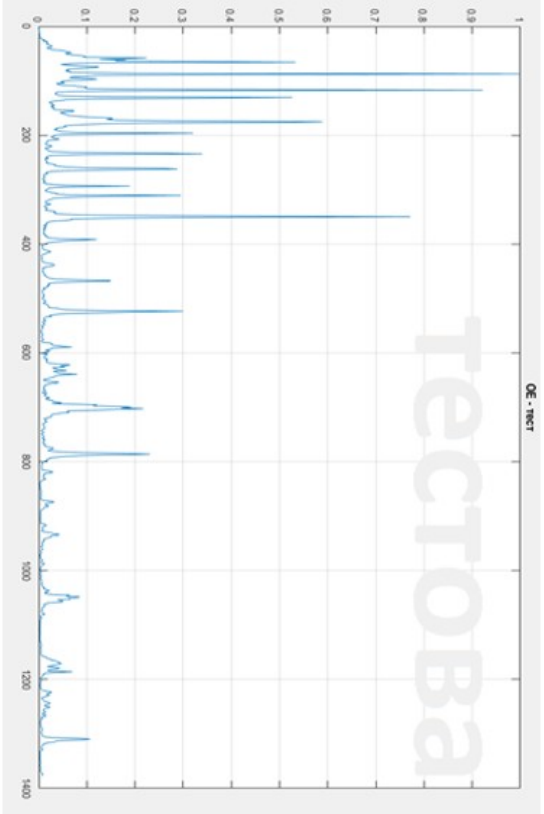


Рисунок А.7 – Узагальнений спектральний аналіз для гурту «Океан Ельзи»

Узагальнений спектральний аналіз для групи пісень гурту «СКАЙ» та його тестової пісні

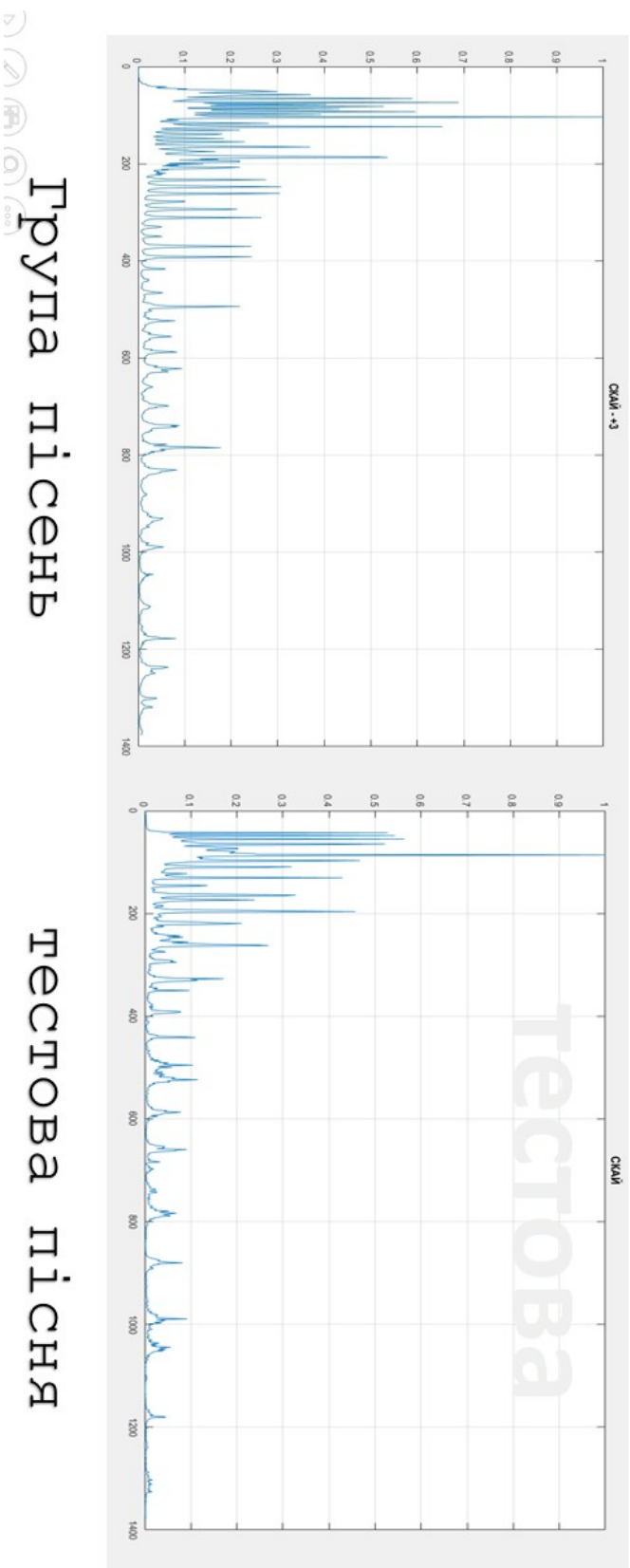


Рисунок А.8 – Узагальнений спектральний аналіз для гурту «СКАЙ»

Кореляційна функція для гурту «Океан Ельзи» та «СКАЙ»

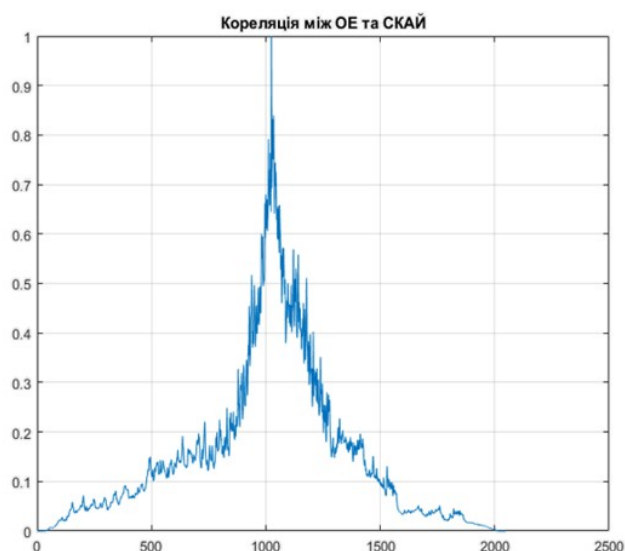


Рисунок А.9 – Кореляційна функція для гуртів «Океан Ельзи» та «СКАЙ»

Кореляційна функція для гурту «Океан Ельзи» та «Один в каное»

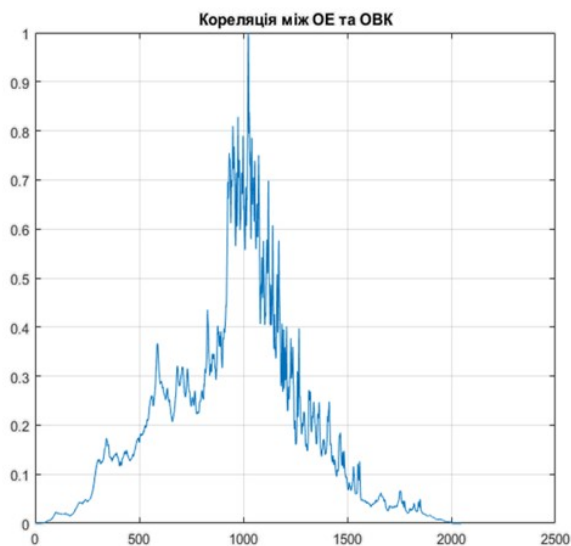


Рисунок А.10 – Кореляційна функція для гуртів «Океан Ельзи» та «Один в каное»

Кореляційна функція для гурту «Один в каное» та «СКАЙ»

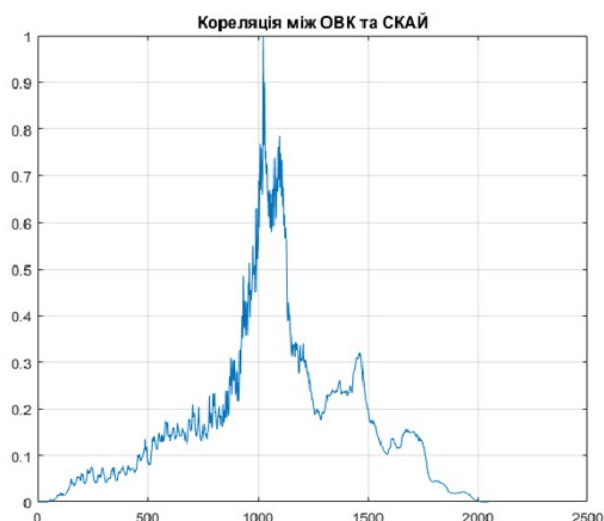


Рисунок А.11 – Кореляційна функція для гуртів «Один в каное» та «СКАЙ»

Кореляційна функція для гурту «СКАЙ» та його тестової пісні



Рисунок А.12 – Кореляційна функція для гурту «СКАЙ» та тестової пісні

Кореляційна функція для гурту «Океан Ельзи» та його тестової пісні

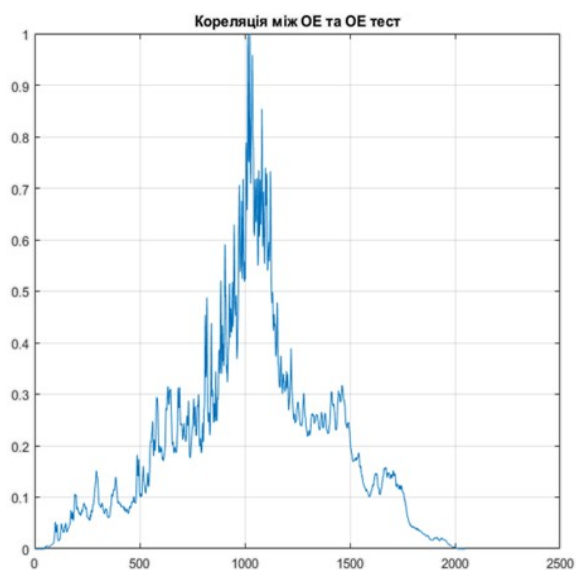


Рисунок А.13 – Кореляційна функція для гурту «Океан Ельзи» та тестової пісні

Кореляційна функція для гурту «Один в каное» та його тестової пісні

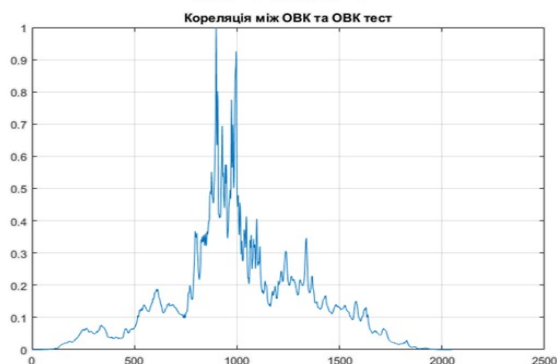


Рисунок А.14 – Кореляційна функція для гурту «Один в каное» та її тестової пісні

Висновки

- Використовуючи один із творів як еталонний, і обчислюючи взаємну кореляційну функцію з ним інших творів можна їх ідентифікувати. Можна здійснити ідентифікацію творів які входять в цей клас якщо є опорний сигнал, на основі якого можна провести аналіз і побачити подібність.
- На основі спектрограми можна здійснити розпізнавання музичного твору. Спектрограма дозволяє визначити час існування певних частотних, спектральних компонент на основі яких можна провести індексування, скласти ознаки розпізнавання та виділити маркери.
- На власне узагальнених спектрах або інтегральному спектрі нам доступна енергетика спектра яка знаходиться в діапазоні людських голосів і інструментів і, якщо відомі інструменти та їх спектри в цьому творі, то є можливість виділити голос виконавця.

Рисунок А.15 – Висновки