

Київський національний університет театру, кіно і телебачення
імені І. К. Карпенка-Карого
Інститут екранних мистецтв
Кафедра звукорежисури



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з науково-педагогічної та
навчальної роботи

Інга Чхатарашвілі-Петраш

« 08 » 09 2025

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ЦИФРОВА ОБРОБКА ЗВУКУ

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти	другий (магістерський)
спеціальність	В1 Аудіовізуальне мистецтво та медіавиробництво
спеціалізація	В1.04 Звукорежисура
освітня програма	Звукорежисура

Київ – 2025

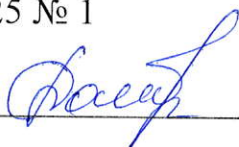
Розробники:

Курбанов Георгій Олександрович – старший викладач, кафедра
звуорежисури, доктор мистецтв.

Викладачі:

Курбанов Георгій Олександрович – старший викладач, кафедра
звуорежисури, доктор мистецтв.

РПНД розглянуто і затверджено на засіданні кафедри звуорежисури
Протокол від 29.08.2025 № 1

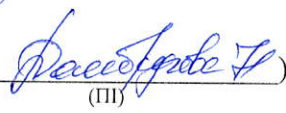
Завідувач кафедри  Наталія ДОМБРУГОВА

РПНД погоджено з гарантом освітньої-професійної програми
«Звуорежисура»

Професор, доктор мистецтвознавства  Наталія КОСТЮК
29.08.2025

Пролонговано:

на 2026/2024 н.р.,

Завідувач кафедри  (підпис) ( (ПІ)), протокол від 24.08.2026 № 1

на 20__/20__ н.р.,

Завідувач кафедри _____ (_____), протокол від _____.20__ № ____
(підпис) (ПІ)

на 20__/20__ н.р.,

Завідувач кафедри _____ (_____), протокол від _____.20__ № ____
(підпис) (ПІ)

на 20__/20__ н.р.,

Завідувач кафедри _____ (_____), протокол від _____.20__ № ____
(підпис) (ПІ)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Форма навчання
	денна
Характеристика навчальної дисципліни	Обов'язкова
Курс	1
Семестр	2
Кількість кредитів	5
Загальний обсяг годин	150
	Лекції
	20
	Практичні
	20
	Самостійна робота
	110
Вид підсумкового контролю	Залік

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета формування у здобувачів системи поглиблених теоретичних знань, практичних умінь та дослідницьких компетентностей у сфері, спектрального аналізу, синтезу, фільтрації, стиснення та інтелектуального розпізнавання аудіосигналів.

Завдання:

- Розуміння принципів роботи лінійних часоінваріантних систем (LTI), цифрових фільтрів (БІХ та КІХ) та алгоритмів просторового позиціонування звуку (3D/Binaural/Ambisonics).
- Ознайомлення з сучасними психоакустичними моделями людського слуху, які лежать в основі алгоритмів стиснення звуку з втратами (MP3, AAC, Opus).
- Освоєння теоретичних основ машинного навчання в аудіодоміні (спектральні ознаки, MFCC, використання згорткових та рекурентних нейромереж для аналізу звуку).
- Набуття навичок програмування алгоритмів ЦОЗ мовами високого рівня (Python з бібліотеками Librosa, SciPy, PyTorch/TensorFlow або C++ з використанням спеціалізованих фреймворків, наприклад, JUCE).
- Проектування та програмна реалізація цифрових фільтрів, еквайзерів, динамічних процесорів (компресорів, лімітерів) та ефектів просторової обробки (реверберація, дилей).

- Розробка та оптимізація алгоритмів розпізнавання звукових образів, класифікації аудіо та аналізу мовлення.
- Проведення порівняльного аналізу ефективності різних алгоритмів обробки звуку за критеріями якості (SNR, PESQ) та обчислювальної складності.

Очікувані програмні результати навчання (РН) за дисципліною:

РН2 - Уміти використовувати міждисциплінарні підходи для критичного аналізу та вирішення питань, пов'язаних з теорією та практикою аудіовізуального мистецтва та медіавиробництва.

РН3 - Володіти методами та організаційними дослідницькими й інноваційними підходами у професійній діяльності.

РН5 - Використовувати відповідні дані для прийняття рішень у сфері аудіовізуального мистецтва та медіавиробництва, знаходити необхідну інформацію, аналізувати її та оцінювати за допомогою сучасних методів роботи з даними.

РН6 - Вільно володіти іноземною мовою для спілкування усно та письмово в науковій, творчо-виробничій і суспільній діяльності.

РН7 - Оцінювати якість аудіовізуальних творів, враховуючи можливі ризики під час їх виробництва

РН10 - Розробляти та реалізовувати проекти зі створення та комерціалізації аудіовізуальних творів.

РН12 - Займатися популяризацією аудіовізуальних проектів у сучасних медіа.

РН13 - Аналізувати аудіовізуальні твори українських та іноземних фахівців, використовуючи сучасні методи та технології для розробки власної авторської концепції.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви тем	Розподіл годин між видами робіт						
	денна форма						
	усього	у тому числі					
		Лекції	Семінари	Практичні	Лабораторні	Індивідуальні	Сам. робота
1	2	3	4	5	6	7	8
1 м курс 2-й семестр							
Тема 1. Поняття про цифрову обробку звуку. Систематизація сучасних видів обробки звуку	30	4					22
Тема 2. Поняття про моно-, стереозвук та систему багатоканального оточення. Розширення стереобазис.	30	4					22
Тема 3. Майстеринг. Обґрунтування концепції майстерингу як останнього етапу роботи над фонограмою.	30	4		10			22
Тема 4. Принципи роботи зі звуковими обробками.	30	4					22
Тема 5. Реконструкція обертонів.	30	4		10			22
УСЬОГО	150	20		20			110

4. Програма навчальної дисципліни

Тема 1. Поняття про цифрову обробку звуку. Систематизація сучасних видів обробки звуку. Цифрова обробка звуку (Digital Audio Processing)(ЦОЗ) — це науково-технічний напрям цифрової обробки сигналів (ЦОС), що вивчає методи теоретичного аналізу, модифікації, синтезу та виділення інформації з акустичних сигналів, поданих у дискретній формі. В основі ЦОЗ лежить перетворення безперервного аналогового сигналу на послідовність чисел за допомогою процесів дискретизації за часом (відповідно до теореми Котельникова-Шеннона) та квантування за рівнем. На магістерському рівні вивчення ЦОЗ розглядається не лише як засіб інженерної корекції аудіо, а як комплексний математичний апарат, що базується на гармонічному аналізі (перетворення Фур'є, вейвлет-перетворення), теорії лінійних часоінваріантних систем (ЛТІ) та статистичному моделюванні. Сучасна ЦОЗ є міждисциплінарною галуззю, яка об'єднує акустику, психоакустику (вивчення особливостей людського слуху), теорію інформації, програмування систем реального часу та методи штучного інтелекту. Для вирішення науково-дослідних та прикладних задач сучасні методи обробки звуку класифікують за функціональним призначенням та математичним апаратом на такі основні категорії:

Амплітудно-частотна (спектральна) обробка: Керування спектральним складом аудіосигналу. Включає лінійну фільтрацію (фільтри з нескінченною та скінченною імпульсною характеристикою — БІХ та КІХ), параметричну та графічну еквілізацію. Сучасний етап характеризується переходом до адаптивної фазово-лінійної фільтрації та динамічної спектральної корекції в реальному часі.

Динамічна (амплітудна) обробка: Нелінійне керування динамічним діапазоном сигналу на основі аналізу його обгинальної. До цієї групи належать компресія, лімітування, експандування, де-ессінг та гейтинг. У сучасних системах застосовується багатосмугова динамічна обробка (Multiband Compression) та алгоритми з прогнозуванням (Look-ahead), що мінімізують спотворення фази та нелінійні артефакти.

Часова та просторова обробка: Моделювання акустичних характеристик приміщень та психоакустичного просторового позиціонування. Включає ефекти затримки (Delay), алгоритмічну та конволюційну (на основі імпульсних відгуків) реверберацію, а також сучасні технології тривимірного звуку: Binaural Audio, Ambisonics та об'єктно-орієнтовані аудіоформати (Dolby Atmos).

Аналітична обробка та виділення інформації (Music Information Retrieval — MIR): Високорівневий аналіз аудіопотоку: виділення спектрочасових ознак (наприклад, медіанних частотно-кепстральних коефіцієнтів — MFCC, хромограм), визначення тональності, темпу, гармонічної структури та сегментація мовлення/музики.

Інтелектуальна та генеративна обробка (AI/ML Audio Processing): Найсучасніший клас методів, що використовує глибинне навчання (згорткові,

рекурентні нейромережі, трансформери та дифузійні моделі). Охоплює задачі розділення джерел звуку (Source Separation), нейронного синтезу мовлення (TTS), розпізнавання мови (STT), перенесення тембру (Voice Conversion) та автоматизації процесів зведення і мастерингу.

Розуміння цієї систематизації дає змогу магістрантам ефективно обирати та комбінувати математичні методи для розробки новітніх інструментів аудіоінженерії, акустичного моніторингу та інтерактивних медіасистем.

Основні поняття/ключові слова: цифрова обробка сигналів (DSP), психоакустична модель, алгоритми реального часу (real-time processing), штучний інтелект в аудіодоміні (AI Audio), аудіоінженерія, стандартизація аудіо.

Рекомендована література:

Базова: 1,7,8

Додаткова: 3

Тема 2. Поняття про моно - стереозвук та систему багатоканального оточення. Розширення стереобазис. Вивчення цієї теми формує у магістрантів комплексне розуміння еволюції просторового аудіо, математичних принципів локалізації звукових джерел та сучасних стандартів імерсивного звучання. Матеріал структуровано за трьома основними напрямками. Монофонія (Монозвук): Базовий формат подання аудіосигналу, що характеризується використанням єдиного каналу передачі або запису. У контексті магістерської програми монозвук розглядається не лише як історичний етап, а як фундаментальний критерій перевірки фазової сумісності (Mono Compatibility) складних просторових міксів. Аналізується явище «фантомного центру» (Phantom Center). Стереофонія (Стереозвук): Двоканальна система (Лівий/Правий), що створює психоакустичну ілюзію просторової ширини та глибини (стереокартини). Вивчення базується на принципах інтенсивної (панорамування за амплітудою) та часової (мікротримки, ефект Хааса) стереофонії.

Досліджується еволюція систем від традиційних форматів (5.1, 7.1, 22.2), де дискретні канали жорстко прив'язані до фізичного розташування гучномовців, до сучасних парадигм просторового звуку:

Канально-орієнтовані формати: Принципи маршрутизації аудіосигналів, розрахунок акустичного тиску та специфіка використання каналу низькочастотних ефектів (LFE).

Об'єктно-орієнтоване аудіо (Object-Based Audio): Вивчення технологій (наприклад, Dolby Atmos, DTS:X), де аудіоджерела існують як незалежні об'єкти, що описуються динамічними просторовими метаданими (координатами X, Y, Z). Рендеринг звукової сцени відбувається у реальному часі залежно від конфігурації системи відтворення кінцевого користувача.

Амбісоніка (Ambisonics): Сферичне математичне подання звукового поля (B-format), що є галузевим стандартом для просторового аудіо у віртуальній та доповненій реальності (VR/AR), а також в інтерактивних ігрових рушіях (FMOD, Wwise).

Особлива увага приділяється побічним ефектам розширення стереобаз: явищу фазового вирахування (Phase Cancellation), втраті атаки та низькочастотної енергії, а також деградації локалізації інструментів. Здобувачі вивчають методи об'єктивного візуального контролю просторового аудіо за допомогою фазометрів, корелометрів (Correlation Meters) та векторскопів (Lissajous figures).

Основні поняття/ключові слова: дискретизація (sampling), квантування (quantization), теорема Котельникова-Шеннона (Nyquist-Shannon theorem), спектральний аналіз, лінійна фільтрація (LTI systems), цифрові фільтри (IIR/FIR), динамічний діапазон (dynamic range), конволюція (convolution), реставрація аудіо (audio restoration), розпізнавання аудіообразів (Music Information Retrieval — MIR), кепстральні коефіцієнти (MFCC), генеративні моделі звуку.

Рекомендована література:

Базова: 9, 10, 12

Додаткова: 5, 7

Тема 3. Майстеринг. Обґрунтування концепції майстерингу як останнього етапу роботи над фонограмою. Вивчення цієї теми є критично важливим для формування у магістрантів системного розуміння життєвого циклу аудіовиробництва. Вона охоплює глибокий аналіз фінальної стадії постпродукції з погляду математичної точності, психоакустики та сучасних стандартів дистрибуції.

Майстеринг (аудіомайстеринг) — це завершальний технологічний, творчий та експертний етап роботи над фонограмою. Його фундаментальна мета полягає в оптимізації спектральних, динамічних, часових та просторових характеристик зведеного аудіоматеріалу (міксу) для забезпечення його бездоганного відтворення на будь-яких типах акустичних систем (явище трансляційності — *audio translation*).

На магістерському рівні концепція майстерингу обґрунтовується не просто як процес косметичної корекції звуку, а як критична ланка між студійним творчим процесом (зведенням) та промислово-маркетинговою дистрибуцією. Це етап остаточного контролю якості (Quality Assurance), де усуваються залишкові технічні дефекти та вирішуються конфлікти, які не були помічені під час зведення через акустичні особливості конкретної студії. У межах навчальної дисципліни процес майстерингу детально розглядається через три основні призми:

Спектрально-динамічне балансування: Вирівнювання амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) за допомогою лінійно-фазових еквалайзерів (Linear-Phase EQ), які запобігають фазовим спотворенням на кросоверах. Для делікатного стиснення динамічного діапазону та контролю частотних сплесків вивчається багатосмугова динамічна обробка (Multiband Compression), динамічна еквілізація та Mid-Side (M/S) процесинг, що дає змогу окремо корегувати моно- та стереоскладові сигнали.

Технологічна стандартизація та оптимізація гучності: Адаптація аудіосигналу під цільові платформи відтворення. Вивчаються стандарти вимірювання інтегральної та короткочасної гучності (LUFS / LKFS), а також максимального пікового рівня (True Peak) відповідно до міжнародних стандартів ITU-R BS.1770 та EBU R128. Окремо аналізуються алгоритми дизерингу (Dithering) та шейпінгу шуму (Noise Shaping) при зниженні розрядності сигналів.

Естетична уніфікація (Альбомний майстеринг): Створення цілісного художнього та частотного образу для багатотрекових релізів (альбомів, EP). Здобувачі вчаться порівнювати фонограми за частотним спектром і середньоквадратичною гучністю (RMS), регулювати тривалість пауз і переходів, а також створювати стандартизовані образи дисків (DDP) із метаданими (коди ISRC, UPC/EAN).

Магістранти залучаються до науково-дослідних задач, зокрема:

Дослідження впливу алгоритмів деструктивного стиснення (MP3, AAC, Ogg Vorbis) на якість сигналу та появу міжсемплових піків (Inter-sample peaks).

Аналіз психоакустичних наслідків історичної «війни гучностей» (loudness war) та її занепаду під впливом алгоритмів автоматичної нормалізації сучасних стрімінгових платформ.

Порівняльний аналіз традиційного аналогово-цифрового майстерингу та автоматизованого ШІ-майстерингу (нейромережових моделей автоматичного зведення).

Основні поняття/ключові слова: монофонія, стереофонія, фантомний центр (phantom center), сумісність у моно (mono compatibility), Mid/Side (M/S) матрицювання, системи об'ємного звуку (Surround Sound), об'єктно-орієнтоване аудіо (Dolby Atmos / DTS:X), Амбісоніка (Ambisonics), бінауральний аудіозапис (Binaural Audio), розширення стереобазу (stereo widening), некорельовані сигнали (signal decorrelation), фазові зсуви (phase shifts), корелометр (correlation meter).

Рекомендована література:

Базова: 15, 17, 19

Додаткова: 9

Тема 4. Принципи роботи зі звуковими обробками. Вивчення принципів роботи зі звуковими обробками на магістерському рівні передбачає перехід від

інтуїтивного використання аудіоефектів до науково обґрунтованого проектування та оптимізації повного сигнального тракту. Дисципліна систематизує фізичні, математичні та психоакустичні закономірності взаємодії різних видів аудіопроектингу.

Оптимізація рівнів посилення (Gain Staging):

Базовий принцип збереження динамічного діапазону та мінімізації шумів і нелінійних спотворень на кожному етапі сигнального тракту. Особлива увага приділяється концепції Headroom (запас за рівнем) у цифровому домені (орієнтир на 0 dBFS) та моделюванню аналогових пристроїв, де номінальний рівень роботи цифрових плагінів оптимізовано під -18 dBFS (що відповідає +4 dBu в аналоговому еквіваленті).

Маршрутизація та послідовність обробки (Signal Flow):

Аналіз та вибір між послідовною обробкою (Insert — безпосередній вплив на весь сигнал, наприклад, еквалізація чи компресія) та паралельною обробкою (Send/Return — підмішування обробленого сигналу до сухого, наприклад, просторова реверберація чи паралельна компресія). Магістранти досліджують вплив черговості приладів у ланцюгу (наприклад, динамічна обробка до чи після спектральної).

Контроль фазової когерентності (Phase Coherence):

Будь-яка аналогова або цифрова фільтрація (окрім лінійно-фазової) викликає фазові зсуви. Принципи роботи з обробками вимагають постійного відстеження фазових взаємозв'язків між різними каналами або паралельними ланцюгами для запобігання деструктивній інтерференції (фазовому вирахуванню), особливо під час роботи з багатомікрофонними записами та багатосмуговими процесорами. Врахування кривих рівної гучності (криві Флетчера-Мансона): Оскільки людський слух нелінійно сприймає різні частоти на різних рівнях звукового тиску (SPL), будь-яка частотна та динамічна корекція має здійснюватися з урахуванням кінцевого рівня гучності прослуховування.

Керування частотним та часовим маскуванням: Принцип спектрального розподілу сигналів у просторі та часі для уникнення взаємного «замілювання» інструментів, що мають спільні частотні зони. Магістранти вчать застосовувати динамічну еквалізацію та сайдчейн-компресію (Side-chain) для автоматичного розв'язання частотних конфліктів.

У межах магістерської програми принципи обробки звуку розглядаються через призму обчислювальної математики та DSP-інженерії: Аналіз алгоритмів передискретизації (Oversampling): Дослідження ефективності алгоритмів придушення ефекту аліасингу (накладання спектрів) під час роботи з нелінійними процесорами (дисторшн, сатурація, лімітування). Оптимізація затримки (Latency) та фазових спотворень: Порівняльний аналіз використання фільтрів з мінімальною фазою (Minimum-Phase) та лінійною фазою (Linear-Phase) у системах реального часу та при фінальному зведенні/майстерингу.

Основні поняття/ключові слова: аудіомайстеринг, трансляційність міксу (audio translation), контроль якості (Quality Assurance — QA), лінійно-фазова еквілізація (Linear-Phase EQ), інтегральна гучність (Loudness LUFS/LKFS), справжній пік (True Peak), стандарт ITU-R BS.1770 / EBU R128, дизеринг (dithering), формування шуму (noise shaping), альбомний майстеринг, DDP-образ (Disc Description Protocol), війна гучностей (loudness war), автоматизований ШІ-майстеринг, структура посилення (Gain Staging), запас за рівнем (Headroom), маршрутизація сигналу (Insert / Send-Return), послідовна обробка, паралельна обробка (parallel processing), фазова когерентність (phase coherence), криві рівної гучності Флетчера-Мансона, частотне маскування (auditory masking), передискретизація (Oversampling), аліасинг (aliasing), системна затримка (latency).

Рекомендована література:

Базова: 18, 21, 25

Додаткова: 6, 8

Тема 5. Реконструкція обертонів. Реконструкція обертонів (гармонік) — це сукупність методів цифрової обробки сигналів, спрямованих на відновлення, ресинтез або штучне генерування високочастотних чи низькочастотних гармонійних компонентів аудіосигналу, які були втрачені внаслідок деструктивного стиснення, обмеження смуги пропускання каналів зв'язку (наприклад, у телефонії) або фізичних недоліків первинного запису.

Реконструкція базується на психоакустичному феномені «віртуальної висоти тону» (missing fundamental) та здатності людського мозку відновлювати сприйняття основного тону за наявністю його обертонів, і навпаки — віртуально добудовувати тембр інструменту чи голосу при аналізі гармонійної структури.

У сучасній DSP-інженерії та аудіопроектингу виділяють кілька ключових технологічних підходів до вирішення цієї задачі:

Нелінійне гармонійне збагачення (Waveshaping & Saturation): Метод базується на проходженні сигналу через нелінійні передавальні функції. Це викликає появу нових спектральних складових (парних або непарних гармонік) у вищих частотних областях. Використовується для психоакустичного підсилення басу (наприклад, алгоритми типу MaxxBass), де замість енерговитратного відтворення наднизьких частот генеруються їхні обертони, створюючи ілюзію глибокого басу на малогабаритних динаміках.

Смугова реплікація спектра (Spectral Band Replication — SBR): Високотехнологічний метод, інтегрований у сучасні кодеки (HE-AAC, xHE-AAC). Алгоритм аналізує нижню (збережену) частину спектра та за допомогою транспонування копіює її у високочастотну область, додатково коригуючи амплітудну обгинальну на основі метаданих. Це дозволяє суттєво знизити бітрейт при збереженні суб'єктивної якості звучання.

Штучне розширення смуги частот (Artificial Bandwidth Extension — ABE): Застосовується переважно в телекомунікаціях для перетворення вузькосмугового мовлення (Narrowband, 300–3400 Гц) у широкосмугове (Wideband, 50–7000 Гц). Алгоритми прогнозують та генерують спектральний вміст поза межами фізичного зрізу фільтра на основі лінійного передбачення (LPC) або прихованих марковських моделей (HMM).

Нейромережева реконструкція (AI-driven Spectral Recovery): Найсучасніший підхід, що використовує глибокі нейронні мережі (зокрема, генеративно-змагальні мережі GAN та дифузійні моделі). Нейромережі навчаються на парах аудіосигналів «низька якість — висока якість» і здатні з високою точністю реконструювати втрачені обертони голосу чи музичних інструментів, враховуючи контекст та фазові характеристики оригінального сигналу.

У межах магістерської програми тема розкривається через проведення прикладних досліджень:

Проектування адаптивних збуджувачів гармонік (Exciters): Розробка алгоритмів динамічного керування рівнем генерації обертонів залежно від транзиторних компонентів (атак) сигналу.

Аналіз фазових спотворень: Дослідження впливу методів відновлення спектра на фазо-часову структуру сигналу та розробка алгоритмів фазової автопідстройки (Phase Alignment).

Оцінка якості реконструйованого звуку: Застосування об'єктивних метрик оцінювання (таких як ViSQOL, PESQ) для порівняльного аналізу традиційних DSP-методик та нейромережевих моделей реконструкції.

Основні поняття/ключові слова: реконструкція обертонів (harmonic reconstruction), ряд Фур'є (Fourier series), гармонійний спектр, віртуальний основний тон (missing fundamental), нелінійне збагачення (saturation / waveshaping), ексітери (spectral exciters), смугова реплікація спектра (Spectral Band Replication — SBR), розширення смуги частот (Bandwidth Extension — BWE), нейромережевий ресинтез, фазове узгодження (phase alignment).

Рекомендована література:

Базова: 17, 19, 23

Додаткова: 8

Завдання на практичну роботу

Тема	Завдання	Форма подання	Максимальна кількість балів
Тема 3.	Аналіз фазо-частотних характеристик цифрових фільтрів у багатосмуговій обробці та мастерингу. Теоретичне та практичне дослідження впливу мінімально-фазових (IIR — Infinite Impulse Response) та лінійно-фазових (FIR — Finite Impulse Response) цифрових фільтрів на транзйентні складові складних аудіосигналів.	Презентація PowerPoint, Google Slides, Canva тощо	25
Тема 5.	Дослідження алгоритмів лінійної згортки для просторового моделювання акустичних середовищ. Опанування методів отримання імпульсних характеристик (IX) реальних приміщень та застосування звукорежисерського моделюючого апарату дискретної згортки для симуляції просторових ревербераційних процесів.	Презентація PowerPoint, Google Slides, Canva тощо	25

Критерії оцінювання практичної роботи:

Критерії оцінювання	Кількість балів
Студент демонструє глибоке розуміння предмета, високу технічну майстерність та здатність до самостійного наукового аналізу. Всі завдання виконані бездоганно. Для Роботи 1 отримано чисту, вільну від шумів та артефактів імпульсну характеристику, яка переконливо моделює простір. Для Роботи 2 метод фазової інверсії (null test) проведено з абсолютною точністю; артефакти фільтрації чітко зафіксовані. Студент вільно оперує термінологією та звукорежисерським апаратом (деконволюція, рівняння згортки, явище Гіббса, відмінності IIR/FIR). Здатний пояснити фізичний та математичний сенс отриманих графіків. Презентація оформлена за вимогами до наукових робіт. АЧХ, ФЧХ та осцилограми проаналізовані детально. Висновки містять самостійні, фахово аргументовані рекомендації (наприклад, чому FIR-фільтр був недоцільним для конкретного треку ударних).	25-20
Високий рівень знань та навичок, але з незначними похибками у складному теоретичному обґрунтуванні або оформленні. Завдання виконані правильно, аудіоматеріали якісні, проте є дрібні недоліки (наприклад, незначне співвідношення сигнал/шум у записаному свіп-тоні, або незначна похибка в компенсації затримки під час null test). Добре розуміння процесів обробки. Студент розуміє різницю між IIR та FIR, загальний принцип згортки, але може допускати дрібні неточності при поясненні складних математичних аспектів (наприклад, зв'язок FFT і крутизни фільтра). Презентація якісна, графіки наявні та прокоментовані. Висновки правильні, проте можуть бути дещо шаблонними і не містити глибоких авторських спостережень.	19-15
Стабільні знання та навички. Студент здатний виконати алгоритм роботи, але аналітична складова потребує покращення. Практичні кроки виконані,	14-9

результати отримані. Втім, наявні помітні технічні недоліки: імпульсна характеристика має артефакти або "брудний" хвіст реверберації, пре-рингінг в другій роботі виявлено, але не зафіксовано чітко на осцилограмі. Базове розуміння алгоритмів. Студент знає, як застосувати інструмент, але відчуває труднощі з поясненням того, чому він працює саме так (наприклад, плутає фазовий зсув і групову затримку). Презентація містить необхідні дані, але аналіз є поверхневим. Опис графіків зводиться до констатації факту (наприклад, "тут є підйом частоти"), без спроби пояснити причину його виникнення (наприклад, вплив стоячих хвиль).	
Виконано мінімально необхідний обсяг роботи. Знання теорії фрагментарні. Роботу виконано частково або зі значною допомогою викладача. Null test виконано з помилками (наприклад, не скомпенсовано рівень гучності). Процес деконволюції проведено, але результат складно використовувати на практиці через низьку якість. Розуміння предмету поверхове. Студент розуміє базові концепції (що таке реверберація, еквалайзер), але не орієнтується в математичних моделях (згортка, фаза) на магістерському рівні. Презентацію оформлено неохайно або неповно. Бракує важливих скріншотів (наприклад, немає ФЧХ). Висновки обмежуються 1-2 загальними реченнями ("робота навчила мене використовувати фільтри").	8-5
Виконання на межі прохідного бала. Робота зараховується, але потребує суттєвого доопрацювання знань. Практичні завдання виконані з критичними помилками, результати ледве відповідають умовам. Аудіофайли мають серйозні артефакти (кліппінг, втрата фази), які студент не помітив або не виправив. Вкрай слабе володіння теорією. Нездатність відповісти на базові питання щодо фізики звуку та принципів цифрової обробки в контексті виконаної роботи. Виконана практична робота формальна, містить переважно запозичений або нерелевантний текст. Власний аналіз відсутній. Графіки можуть не відповідати наданим аудіофайлам.	4-1
Завдання не виконані або виконані повністю неправильно (наприклад, замість лінійної згортки використано звичайний алгоритмічний ревербератор у Роботі Відсутність розуміння базових принципів DSP. Плагіат у роботі. Відсутність аудіоматеріалів або повна їх невідповідність завданню.	0

5. Методи навчання

1. Вербальні методи організації навчання (лекція, пояснення, розповідь, бесіда, дискусія).
2. Наочні (спостереження, ілюстрація, демонстрація).
3. Практичні (слухання, аналіз, узагальнення, презентація звукового вирішення).
4. Виконання письмових завдань (есе, реферати, звукова експлікація).

6. Завдання для самостійної роботи та критерії оцінювання

Тема	Завдання	Форма подання	Максимальна кількість балів
1.	Моделювання та аналіз фазової сумісності алгоритмів розширення стереобазис (M/S процесинг)	Презентація PowerPoint, Google Slides, Canva тощо	10
2.	Дослідження відповідності фонограм міжнародним стандартам гучності (ITU-R BS.1770 / EBU R128)	Реферат у форматі PDF або Word	10
3.	Чисельне дослідження ефекту аліасингу та ефективності алгоритмів передискретизації (Oversampling)	Реферат у форматі PDF або Word	10
4.	Просторове позиціонування монофонічного сигналу за допомогою імпульсних відгуків HRTF (Head-Related Transfer Function)	Презентація PowerPoint, Google Slides, Canva тощо	10
5.	Проектування та реалізація алгоритму психоакустичної реконструкції низькочастотних обертонів	Презентація PowerPoint, Google Slides, Canva тощо	10

Критерії оцінювання самостійної роботи:

Критерії оцінювання	Кількість балів
Робота виконана бездоганно, демонструє глибоке розуміння теоретичного матеріалу та високий рівень практичних навичок. Робота (Python/MATLAB) написана професійно, оптимізована за швидкодією (що важливо для DSP-систем), повністю робоча, містить вичерпні коментарі до алгоритмів. Реферат/презентація містять детальний фізико-математичний аналіз результатів (спектрограм, фазових зсувів, вимірювань гучності). Побудовані графіки мають чіткі підписи осей, розмірностей та легенду. Студент виявив самостійність, запропонував власні оптимізації алгоритму або провів додатковий порівняльний аналіз, що виходить за межі базових вимог завдання. Створене звукове поле характеризується ідеальною спектральною рівновагою, винятковою транзитornoю чіткістю (збереженням атак) та оптимальним динамічним діапазоном. Просторова картина (стереофонічна чи багатоканальна) має високий ступінь локалізації джерел, глибину та дифузність ревербераційного хвоста. Повністю дотримано параметрів фазової сумісності (коефіцієнт кореляції >0.5 в усьому діапазоні частот) та нормативів гучності (ITU-R BS.1770 / EBU R128).	10-8
Робота виконана на високому професійному рівні, але містить незначні технічні чи концептуальні зауваження. Технологічно-акустичний рівень: Аудіоматеріал демонструє відмінну трансляційність та художню цілісність. Проте наявні локальні частотні або динамічні конфлікти (наприклад, незначне маскування в області низької середини (250–400 Гц) чи ледь помітна перекомпресія транзентів у пікових моментах). Стереобазис розширена коректно, фазова сумісність збережена, стандарти гучності витримані в межах допустимих відхилень (0.5 LU). Науково-методологічний	7-5

аналіз: Реферат або презентація містить структурований опис етапів обробки та об'єктивні графічні дані. Проте наукове обґрунтування має частково описовий характер, без глибокого критичного аналізу взаємодії різних приладів обробки (наприклад, не до кінця розкрито вплив передискретизації сатуратора на якість високочастотного спектра).	
Магістрант володіє основними методами обробки звуку, робота виконана в повному обсязі, але містить очевидні компромісні рішення або помилки. Загальний частотний та динамічний баланс фонограми є задовільним, але присутня помітна жанрова невідповідність (наприклад, надмірне обмеження динамічного діапазону в акустичному/джазовому проекті). Просторове позиціонування виконано стандартно, проте при переході в монофонічний режим спостерігається деградація тембру окремих інструментів (фазове вирахування через некоректне застосування ефектів часової затримки). Реферат або презентація структуровані, базуються переважно на емпіричних правилах («на слух»), а не на законах акустики. Аналіз вимірювань гучності виконано поверхово, відсутній критичний аналіз спектральних аномалій.	4–2
Роботу виконано з фатальними технологічними дефектами, які унеможливають її трансляцію (постійний цифровий кліппінг, повна втрата фазової когерентності, відсутність низькочастотного контролю). Студент демонструє нездатність провести елементарне експертне прослуховування власного матеріалу. Під час захисту магістрант не може пояснити вибір параметрів обробки (Threshold, Attack/Release, Q-factor) з погляду фізики сигналу або фізіології слуху.	1–0

Відповідно до [Положення про порядок визнання результатів навчання, здобутих у процесі формальної, неформальної та/або інформальної освіти](#)

Університету, здобувач має право зарахувати результати навчання, якщо вони підтверджені офіційними документами (дипломом, сертифікатом, свідоцтвом тощо). Це можуть бути результати, отримані під час участі в онлайн чи очних курсах, програмах обміну, конференціях, тренінгах, семінарах, лекціях, майстер-класах, літніх чи зимових школах, бізнес-школах, стажуваннях та інших освітніх заходах.

У межах цієї дисципліни здобувач може подати документи для визнання результатів неформальної освіти за окремими темами. Якщо такі результати підтверджені сертифікатом чи іншим документом, вони зараховуються як виконання завдань для самостійної роботи.

Освітні курси, за проходження яких можна отримати перезарахування, знаходяться на платформах:

- [Prometheus](#)
- [EdEra](#)
- [Coursera](#)

7. Форми проведення контролю та критерії оцінювання

Оцінювання рівня знань здобувачів включає поточний і підсумковий контроль. Поточний контроль має на меті оцінити роботу здобувачів за всіма

видами аудиторної роботи (лекції, практичні заняття) та відображає поточні навчальні досягнення здобувачів в освоєнні програмного матеріалу дисципліни. Підсумковий (семестровий) контроль є інтегрованою оцінкою засвоєння знань здобувачів у вигляді семестрового заліку.

При викладанні дисципліни використовуються такі методи контролю:

поточний контроль (ПК) - включає диференційований та об'єктивний облік результатів освітньої діяльності здобувачів щодо засвоєння теоретичних знань (усне опитування, обговорення проблемних питань тощо) та уміння практичного вирішення завдань на практичних заняттях та під час самостійної роботи здобувачів. Поточний контроль передбачає максимально - 100 балів;

підсумковий семестровий контроль (ПСК) □ залік, за підсумками роботи в семестрі (за результатами поточного контролю).

8. Розподіл балів, які отримують студенти

1 курс 2 семестр

Вид роботи	T1	T2	T3	T4	T5	Всього
Практичні заняття			25		25	50
Самостійна робота	10	10	10	10	10	50
Кількість балів за темою	10	10	35	10	35	100

Шкала відповідності оцінок

Оцінка за стобальною шкалою	Оцінка за шкалою ECTS	Значення оцінки	Рівень Компетентності
90 – 100	A	Відмінно – відмінний рівень знань (умінь) в межах обов'язкового матеріалу з можливими незначними недоліками	Високий (творчий)
82 – 89	B	Дуже добре – достатньо високий рівень знань (умінь) в межах обов'язкового матеріалу без суттєвих (грубих) помилок	Достатній (конструктивно-варіативний)
74 – 81	C	Добре – в цілому добрий рівень знань (умінь) з незначною кількістю помилок	
64 – 73	D	Задовільно – посередній рівень знань (умінь) із значною кількістю недоліків, достатній для подальшого навчання або професійної діяльності	Середній (репродуктивний)

60 – 63	Е	Достатньо – мінімально можливий допустимий рівень знань (умінь)	
35 – 59	FX	Незадовільно з можливістю повторного складання – незадовільний рівень знань, з можливістю повторного перескладання за умови належного самостійного доопрацювання	Низький (рецептивно-продуктивний)
0 – 34	F	Незадовільно з обов’язковим повторним вивченням курсу – досить низький рівень знань (умінь), що вимагає повторного вивчення дисципліни	

9. Рекомендована література

Основна:

- Багаєв, Д., & Желанов, О. (2026). СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА ПРОГРАМНА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВУКУ В СИСТЕМАХ ЦИФРОВОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МУЗИЧНИХ ІНСТРУМЕНТІВ. Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference "Innovations in Science: From Theoretical Foundations to Practical Impact" January 5–7, 2026 Antwerp, Belgium. https://www.eoss-conf.com/wp-content/uploads/2026/01/DOI-%D0%91%D0%B0%D0%B3%D0%B0%D1%94%D0%B2_%D0%96%D0%B5%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2.pdf
- Вороной, А. С. (2025). Веб-орієнтована система для інтелектуального міксування вокалу та інструментального супроводу.
- Журко, Є. Д. (2026). ЗАСОБИ ВИРІШЕННЯ АКУСТИЧНИХ ПРОБЛЕМ ПРИ ПРОВЕДЕННІ МАСОВИХ МУЗИЧНИХ ЗАХОДІВ.
- Заря, С. (2026). Інноваційні можливості мобільних DAW-систем у практиці естрадного вокаліста. *Київське музикознавство*, (5), 372-380.
- Іванков, А. (2026). Оптимізація обробки аудіосигналів у реальному часі. *Матеріали IX Міжнародної студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання “*, 182-183.
- Ковальчук, С. Ю. (2026). МУЗИЧНО-ЗВУКОВА ІНТЕНЦІОНАЛЬНІСТЬ: ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ БРАУЄРАЙЗИНГУ ТА СПОСОБИ ЙОГО ПЕРСОНАЛЬНОЇ МОДИФІКАЦІЇ.
- Каліберда, А., & Піскарьов, О. (2025). Аналіз звукового спектра цифровими методами. *Матеріали конференцій МНЛ*, (18 квітня 2025 р., м. Львів), 137-139.
- Ларіонов, О. О. (2025). VST3 ШІ-еквалайзер для автоматизованого налаштування звуку в цифровій аудіо робочій станції.
- Мірошніченко, А. С. (2025). Відстеження та прогнозування траєкторії руху об’єктів у просторі за допомогою цифрових сигналів.

10. Максименко, М. М. (2026). ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ЗВУКОРЕЖИСЕРА ПІД ЧАС МУЗИЧНО–КОНЦЕРТНИХ ЗАХОДІВ.
11. Могилевський, Б. (2026). ЕЛЕКТРОННА МУЗИКА ТА ДЖАЗ В АВТОРСЬКИХ КОМПОЗИЦІЯХ «VODOYU» ТА «FIGURE 2»: ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ СИНТЕЗУ. *Музикознавча думка Дніпропетровщини*, 30(1), 301-314.
12. ПАЛАМАРЧУК, В. (2025). МУЗИЧНА ОСВІТА В ЕПОХУ ЦИФРОВОГО ЗВУКУ: ІННОВАЦІЇ, АДАПТАЦІЇ, ПЕРСПЕКТИВИ. *Вісник Львівського університету. Серія мистецтвознавство/Bulletin of the Lviv University. Series of Arts Studies*, (27), 71-82.
13. Петров, А. Р. (2025). Система визначення нот на основі частоти звукових коливань.
14. Превисокова, Н. В., & Ровінський, В. А. (2025). Технології цифрової обробки сигналів та програмування систем з використанням C++, C# і бібліотеки Intel IPP.
15. Чепеленко, А. Д. (2026). ОСОБЛИВОСТІ ЗВУКОЗАПИСУ СТРУННО-СМИЧКОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ.
16. Кочержук, Д. В. (2025). Технологічні трансформації при створенні музичного аудіоальбому в умовах науково-технічної революції ХХІ століття. *Музичне мистецтво в освітологічному дискурсі*.
17. Карась, Д. В. (2025). Методи автоматизованого проектування цифрових фільтрів на платформі SoC.
18. Коваленко, О. М. (2025). *Використання цифрових аудіо робочих станцій у музичній самоосвіті дорослих* (Doctoral dissertation, Інститут цифровізації освіти).
19. Котик, Є. О. (2026). Кіберфізична система моніторингу вібрацій та шуму промислових агрегатів з паралельною обробкою сигналів у реальному часі.
20. Сирота, Л. (2026). ДИНАМІКА ЦИФРОВИХ ЗМІН В АУДІОВІЗУАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ: ІНСТРУМЕНТАРІЙ ТА ТРАНСФОРМАЦІЯ ТРАДИЦІЙНИХ ПРАКТИК. *Collection of scientific papers «SCIENTIA»*, (April 24, 2026; The Hague, Netherlands), 167-171.
21. Castillo, J., Rojas, E., León, A., & León, M. (2024, June). Digital Filter for Audio Signal Processing and White Noise Removal. In *International Conference on Intelligent Manufacturing and Energy Sustainability* (pp. 583-593). Singapore: Springer Nature Singapore.
22. Davila-Velarde, R., Ramos-Contreras, R., Pizano-Escalante, L., Longoria-Gandara, O., & Aguilera-Galicia, C. (2023). Application-specific integrated circuit of an inter-IC sound digital filter for audio systems. *Applied Sciences*, 13(14), 8182.
23. Zölzer, U. (2022). *Digital audio signal processing*. John Wiley & Sons.
24. Uncini, A. (2022). *Digital Audio Processing Fundamentals* (Vol. 21, pp. 1-707). Springer.
25. Zhou, X., Chao, W., & Shao, X. (2023). A study of encryption for multimedia digital audio security. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14(2).

26. Upegui, J. M. V., & Parra, C. A. C. (2023). The Evolution of Audio Processing: Technological and digital mediation in music creation and record production. *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, 15(29).
27. Hayes, B., Shier, J., Fazekas, G., McPherson, A., & Saitis, C. (2024). A review of differentiable digital signal processing for music and speech synthesis. *Frontiers in Signal Processing*, 3, 1284100.
28. Kjus, Y. (2026). The platformization of music production: How digital audio workstations are turned into platforms of labor market relations. *New Media & Society*, 28(3), 1063-1080.
29. Tomson, R. S., Leejoy, A., Rahman, A., & George, A. (2026). Reson Studio: An AI Integrated Digital Audio Workstation for Intelligent and Collaborative Music Production. *International Journal on Emerging Research Areas*, 6(1).
30. Talati, S., Etezadifar, P., Hassani Ahangar, M. R., & Molazade, M. (2024). A Comparative Analysis of Digital Audio Encoders: LPC, CELP, and MELP, Evaluating Quality and Complexity of Transmitted Content. *Majlesi Journal of Telecommunication Devices*, 13(1).

Додаткова:

1. Артюхов, В. Г., Бритов, О. А., Гіоргізова-Гай, В. Ш., Кирюша, Б. А., & Стіканов, В. Ю. (2022). Цифрова обробка аудіоінформації. Лабораторний практикум.
2. Багаєв, Д., & Желанов, О. (2026). СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА ПРОГРАМНА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВУКУ В СИСТЕМАХ ЦИФРОВОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МУЗИЧНИХ ІНСТРУМЕНТІВ.
3. Бабік, А. О. (2023). Цифрова обробка зображень ультразвукової діагностики.
4. Горбовський, А. А. (2026). ФОРМУВАННЯ ТРЕКУ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ МУЗИКИ В СТИЛІ РОК.
5. Маркітан, В. О. (2024). *Потокова цифрова обробка аудіосигналів для конфігурування музичних інструментів* (Bachelor's thesis, Волинський національний університет імені Лесі Українки).
6. Карпин, І. Я. Особливості акустичної обробки звуку духових інструментів засобами сучасних цифрових пристроїв.
7. Крючин, А., Ковтанюк, Ю., Івченко, Л., Косяк, І., & Цибульська, О. (2026). ВІДНОВЛЕННЯ ФОНОГРАМ З КОЛЕКЦІЇ РАРИТЕТНИХ ГРАМПЛАТІВОК ВІДДІЛУ МУЗИЧНИХ ФОНДІВ НАЦІОНАЛЬНОЇ БІБЛІОТЕКИ УКРАЇНИ імені ВІ ВЕРНАДСЬКОГО: ОЦИФРУВАННЯ, ЦИФРОВА РЕСТАВРАЦІЯ, СТВОРЕННЯ МЕТАДАНИХ, ІНТЕГРУВАННЯ ДО МІЖНАРОДНИХ МУЗИЧНИХ ВЕБРЕСУРСІВ. *Manuscript & Book Heritage of Ukraine*, (1), 189.
8. Каращук, В. (2024, December). Звуковий дизайн у кінематографі та інших аудіовізуальних формах. In *The 5th International scientific and practical conference «Scientific research: modern challenges and future prospects»*(December 16-18, 2024). Munich: MDPC Publishing (pp. 538-540).

9. Корольов, Ю. І. (2026). Комп'ютерна система визначення параметрів обробки аудіосигналів з використанням машинного навчання.
10. Петрик, М. А. (2026). *Комп'ютерна система модифікації голосу в реальному часі* (Bachelor's thesis, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя).