

УДК [781.22:681.84]:785

DOI <https://doi.org/10.32782/ART/2024-1-16>

DSP-РЕВЕРБЕРАТОР: ЗВУКОВИЙ ДИЗАЙН ДЛЯ ЕСТРАДНОЇ МУЗИКИ

Ужинський Михайло Юрійович

кандидат мистецтвознавства,
доцент кафедри естрадної музики Інституту мистецтв
Рівненського державного гуманітарного університету
ORCID ID: 0000-0002-7090-7631
e-mail: mishykas@gmail.com

Рокіщук Іван Іванович

старший викладач
кафебри естрадної музики
Рівненського державного гуманітарного університету
ORCID ID: 0000-0002-1686-7181
e-mail: e1rock@ukr.net

Маринін Роман Ігорович

магістрант кафедри естрадної музики
Інституту мистецтв
Рівненського державного гуманітарного університету
ORCID ID: 0000-0002-1686-7181
e-mail: romamagdich@gmail.com

У статті аналізується специфіка роботи процесора ефектів (ревербератора) для студійної і «живої» роботи, застосування його алгоритмів для практикуму в естрадній музиці. Здійснено огляд праць науковців та аудіотехнологів, присвячених особливостям роботи звукорежисера з класичним цифровим стереопроектором та інноваційними технологіями щодо створення нових звукових бібліотек. Указано на особливе місце реверберації як невід'ємного компонента в музичному мистецтві, підкреслено важливість і значимість звукового дизайну вокалу та музичних інструментів у сценічно-концертній роботі. Детально розглянуто стандарти ревербів, ділеїв та ефектів модуляції, забезпечення їх маршрутизації та конфігурації, показано гнучкий алгоритм моделювання «ефектів приміщення» для музичних програм.

Оглянуто історичний розвиток музично-звукового компоненту, де застосовували реверберацію для збагачення звучання творчих колективів як на сцені, так і в студії звукозапису, – від створення штучних акустичних звукових середовищ до представлення у 1978 р. лінійки продуктів Reverb на AES Convention фірмою Lexicon, які вважалися першими комерційними життєздатними системами цифрового реверба у світовій аудіоіндустрії. Констатовано, що становлення професійного DSP (Digital Signal Processor) стереопроектора відбувалося у тісному зв'язку з митцями від музичного мистецтва, що становило специфічні риси звукового забарвлення співочих голосів та музичних інструментів. В українській сценічній практиці протягом довгого часу відбувалося формування засад культурно-мистецьких дійств, де реверберація виконує не лише ілюстративну функцію, а стає важливим засобом характеристики вокальних номерів та інструментальних композицій, збагачуючи можливості звукорежисерських практик як на сценічному майданчику, так і в електронній студії звукозапису.

Основні аспекти використання звукотехнічних засобів проілюстровано прикладами із сучасної звукорежисерської практики. Зазначено, що інноваційні DSP-ревербератори інспірували пошуки нових виражальних засобів і прийомів у музично-звуковому компоненті естрадної музики, актуальних для сьогоденного музичного мистецтва.

Ключові слова: штучна реверберація, інноваційні технології, звукова картина.

DSP-REVERB: SOUND DESIGN FOR POPULAR MUSIC

Mykhailo Uzhynskyi

Rivne State University of the Humanities

Ivan Rokishchuk

Rivne State University of the Humanities

Roman Marynin

Rivne State University of the Humanities

The article analyzes the specifics of the effects processor (reverb unit) operation for studio and live work, applying its algorithms to practice in pop music. A review of works by scientists and audio technologists dedicated to the peculiarities of sound director's work with a classical digital stereo processor and innovative technologies for creating new sound libraries has been conducted. The special role of reverbation as an integral component in musical art is indicated, emphasizing the importance and significance of vocal and musical instrument sound design in stage and concert work. A detailed examination of reverb standards, delays, and modulation effects has been undertaken, ensuring their routing and configuration, demonstrating a flexible algorithm for modeling «room effects» for musical applications.

The historical development of the musical-sound component has been reviewed, where reverbation was applied to enrich the sound of creative ensembles both on stage and in the recording studio, from the creation of artificial acoustic environments to the introduction in 1978 of the Reverb product line at the AES Convention by «Lexicon», which were considered the first commercially viable digital reverbation systems in the global audio industry. It is noted that the development of professional DSP (Digital Signal Processor) occurred in close connection with artists from the musical arts, which shaped the specific characteristics of sound coloring for singing voices and musical instruments. For a long time, Ukrainian stage practice has been shaping the foundations of cultural and artistic performances, where reverberation performs not only an illustrative function but also becomes an important means of characterizing vocal performances and instrumental compositions.

The main aspects of the use of sound equipment are illustrated with examples from modern sound directing practice. It is noted that innovative DSP reverb units inspired the search for new means of expression and techniques in the musical and sound component of pop music, relevant for contemporary musical art.

Key words: artificial reverb, innovative technology, sound picture.

Постановка проблеми. Велика кількість спеціалізованих музичних магазинів пропонує широкий вибір аудіопродукції. Придбання необхідного звукотехнічного обладнання перестало бути проблемою, це сприяло зростанню великої кількості студій, прокатних фірм аудіотехнічних засобів. Зі звуком почала працювати велика кількість аматорів, не маючи достатньо практики та погано знаючи тонкощі роботи звукорежисера й особливо специфіку роботи з процесорами ефектів, здебільшого повторюючи на примітивному рівні технічні прийоми з арсеналу професіоналів. У статті запропоновано специфіку та методи застосування DSP-ревербератора в естрадній музиці, які було сформовано на власному педагогічному досвіді і багаторічній роботі звукорежисером.

Аналіз досліджень. Здійснено огляд праць, присвячених особливостям роботи практикуючих звукорежисерів та аудіотехнологів, а також науковців, які вивчали генезу мистецьких технологій для концертної та студійної роботи. Указано на значне місце реверберації/ефект-процесорів як одного з важливих складників в естрадній музиці. Підкреслено особливості створення звукового образу за допомогою DSP-ревербераторів, детально розглянуто їхні

основні складники: музичний, техніко-технологічний. Основу дослідів підготовки запропонованої роботи становили праці: з практичної аудіотехнології українських звукорежисерів (Н. Домбругової, В. Дьяченка, Є. Куца, В. Папченка, Л. Рязанцева та ін.) та зарубіжних (Дж. Абея, В. Валімакі, С. Кантоніка, А. Рейлі, Д. Смітча та ін.); способів і методів застосування вербально-аудіального компонента в естрадній музиці (Н. Белявіна, О. Бут, А. Мороз, Д. Паркер, Д. Фрей та ін.); акустики приміщень і ревербераційні процеси в них (С. Бильчинський, М. Гарбузов, В. Кнудсен, С. Корсунський, О. Кравченко та ін.).

Вітчизняні та зарубіжні науковці зробили вагомий внесок у вирішення питань дуалізму мистецтва й технологій, висвітлили доцільність застосування ефект-алгоритмів обробки звукового тракту для вокальних та інструментальних творів. Однак досі не розробленими залишаються питання ролі процесорів-ревербераторів у музичному мистецтві, їх технічний спектр можливостей щодо повного практичного застосування у студіях звукозапису та концертній практиці.

Мета статті – проаналізувати і висвітлити можливості та роботу DSP-ревербератора для естрадної музики.

Виклад основного матеріалу. Характерною особливістю сучасного культурно-мистецького простору є взаємопроникнення мистецтва, техніки й технологій. Розвиток мистецьких технологій змінив не лише звуковий образ світу, а й інспірував появу нових професій, серед яких ключове значення має звукорежисуря як спеціальність, що органічно поєднує технічний, технологічний та мистецький компоненти. Звукорежисуря є невід'ємним складником театрального, музичного, хореографічного, циркового, естрадного мистецтва, кінематографа і телебачення. У кожному з мистецьких видів вона має свою специфіку, але виконує те ж саме завдання – за допомогою технічних засобів створює цілісний художньо-звуковий образ.

За останні роки технології у галузі створення просторово-часових ефектів значно вдосконалилися: стерео-ревербератори, цифрові процесори ефектів високої розподільної здатності, суміш спадщини та інновацій – це подвійні стерео/surround-ревербератори для студійної і «живої» роботи, plug-in (плагіни) для комп'ютерних програм; можна сміливо говорити про значний прорив у цій сфері. Цим прогресом користувачі передусім зобов'язані науковим дослідженням з акустики й психоакустики, розробкам сучасних методів синтезу звукового простору і створенню нових алгоритмів *штучної реверберації*.

Штучною реверберацією називають ревербераційний сигнал, уведений у звуковий цикл під час передачі його електроакустичним трактом, при цьому відповідний ефект створюється не за рахунок впливу акустичних властивостей самого приміщення, а за рахунок спеціалізованого приладу – *процесора ефектів*, котрий підключається до системи звукопередачі/звуківідтворення.

Процесор ефектів – програмний або апаратний блок, побудований на використанні DSP (Digital Signal Processor), який слугує для накладання на сигнал звукових ефектів. *Реверберація* (від лат. re-verberatus – повторний удар) – процес продовження звучання після закінчення звукового імпульсу або коливання завдяки віддзеркаленням звукових хвиль від поверхні. Ранні віддзеркалення – це ті, що один раз відбилися від стін приміщення і дійшли до слухача. Пізні віддзеркалення – це ті, що багато разів відбилися від різних стін і дійшли до слухача, з'єднавшись в одне суцільне плавне затухаюче післязвуччя, створивши так званий «ревербераційний хвіст» (Фрей, 2015. с. 32). Можливість найбільш точно відтворити цей процес щільним електронними засобами і відрізняє звучання високоякісних процесорів ефектів від бюджетних (дешевих).

Принцип отримання штучної реверберації полягає у тому, що сигнал від джерела звуку після підсилення подається на процесор, де створю-

ється послідовність його повторень, які помірно зменшуються протягом часу. Отриманий на виході складний ревербераційний сигнал «підмішується» у звукотехнічний тракт до основного сигналу з достатньо помірним рівнем, чим і створює відповідний звуковий ефект.

Використання штучної реверберації є складовою частиною загальної обробки сигналу під час звуківідтворення співочих голосів, музики, художнього читання, театральних шумів. Цей вид обробки може диктуватися як технічними умовами, так і художньо-естетичними завданнями звукового тракту.

Штучну реверберацію використовують під час проведення будь-яких мистецьких заходів, коли не вдається за допомогою тільки розташування мікрофонів і регулювання їх рівнів створити необхідне співвідношення між умовно звуковою *лункістю* (якість звучання, яка відчувається суб'єктивно) і чіткістю звучання. Особливо це необхідно, коли озвучення проходить у приміщенні з незадовільною акустикою або недостатнім складом виконавців об'єму залу. У таких випадках мікрофони вимушено встановлюються достатньо близько до артистів, унаслідок чого звучання колективу виходить дуже «сухим», без відчуття «повітря» простору (Омельченко, 2014).

Під час концертного виступу вокаліста або сольного інструмента, у разі коли він «тоне» у звучанні супроводу ансамблю (акомпанементу), відповідний алгоритм на процесорі ефектів може допомогти створити потрібне акустичне забарвлення голосу чи інструменту. Також за допомогою штучної реверберації можна створити ефект наближення і віддалення джерела звуку (музичний інструмент, група інструментів, співочі голоси тощо), тоді як саме джерело надходження звуку буде залишатися нерухомим відносно мікрофону. Для цього, як уже згадувалося, до прямого звуку, який надходить, додають у достатній кількості ревербераційний сигнал, створюючи тим самим ілюзію зміни акустичного співвідношення та враження переміни *звукового плану*. У такий спосіб під час близького розташування мідних чи ударних інструментів біля мікрофонів за допомогою потрібної програми процесора ефектів можна дещо «відсунути» їх углиб *звукової картини*.

Можливість для звукорежисера під час роботи у будь-якому мистецькому заході змінити програми реверберації має приблизно таке ж значення, як для піаніста використання під час гри правої педалі. У разі коли це зумовлено художніми особливостями звуківідтворення, штучною реверберацією можна збільшити злиття звучання окремих груп інструментів, а також коректувати недостатність акустики приміщення.

Використання просторових ефектів для створення різних звукових планів має таку ж характерну

особливість, як і за ілюзії «дальнього плану», коли може зберегтися чіткість звучання окремих груп джерел звуку та їх тембральне забарвлення, характерне для «близких планів». Ця суперечливість від враження звукових планів за використання штучної реверберації є однією з причин, чому під час озвучення симфонічної, оперної та камерної музики алгоритми процесора ефектів використовуються вкрай коректно (Маковій, 2013).

Якщо для класичної і сучасної симфонічної музики критерієм є принцип єдності звукової перспективи, то для естрадної, джазової музики, навпаки, «акустична багатоплановість» і різна фонічна трактовка звучання окремих груп виконавців використовуються під час звукопередачі як одне з важливих виразних засобів. Жодних конкретних правил застосування штучної реверберації під час озвучення музики цього жанру не існує. Прийоми і засоби звуковідтворення визначаються, з одного боку, характером музичного твору та виконавськими можливостями самого ансамблю, з іншого – технічними можливостями, а також досвідом та музичним і художньо-естетичним смаком самого звукорежисера.

Як правило, ритмічна група естрадного ансамблю передається сухо, чітко, без реверберації. Якщо такі інструменти цієї групи, як рояль, електрична гітара/акустична гітара, виконують сольні партії, то їх звучання нерідко обробляють спеціально підготовленою програмою з процесора ефектів. Перед поверненням цих інструментів до ритмічної функції сигнал процесора відразу відключають (bypass), тому що при невеликому спізненні чіткість передачі ритму буде недотримана. Мелодичну групу досить часто підзвучують із відносно великим рівнем реверберації; бас намагаються передати з мінімальним рівнем реверберації, а то й зовсім без неї. Такі функції, як підголоски, імітація, фігурація, виконані тими чи іншими інструментами, відтворюють/записують із різними просторово-часовими ефектами залежно від сюжету.

До штучної реверберації звертаються для покращення й підкреслення художньої виразності мови, співу, звучання окремих музичних інструментів. Під час побудови високої теситури в деяких інструментів звук стає «жорстким», неприємним для слуху. Для прикладу, у флейти у високому регістрі звук скоріше нагадує чистий тон звучання генератора, ніж музичний інструмент. Після обробки звук цього інструмента може стати гарним і на найвищих нотах. Подання реверберації у канали мікшерного пульта, де скрипки підзвучуються інструментальними мікрофонами (Маковій, 2013), робить їх звучання «повітряним», а висхідний пасаж струнних із додаванням збільшення рівня штучної реверберації створює ефект враження звуку, який лине в простір.

У разі застосування штучної реверберації під час озвучення вокалістів, окремого інструмента чи групи інструментів оптимального художнього ефекту досягають завдяки різному значенню часу реверберації та рівня ревербераційного складника у загальному сигналі. Якщо дуже великий рівень реверберації, чіткість мелодійного малюнку і гострота звукової атаки скрипок помітно «завуальовуються», а занадто малий рівень веде до зниження ефективності, «святковості» їх звучання. Під час звукопідсилення жанрової, ліричної пісні, музичного фольклору, романсів рівень реверберації може бути мінімальним, а під час естрадної музики, навпаки, він може бути суттєво збільшеним.

Потрібно відзначити, що для повільної музики час реверберації може бути збільшеним, а для швидких темпів він повинен бути зменшеним. Рівень по часу можна вибрати (орієнтовно), керуючись розміщеними в багатьох партитурах метрономічними даними, котрі визначають темп музики. У сучасному драматичному театрі ефекти можуть застосовуватися для вирішення найрізноманітніших завдань. Одним із засобів виразності в театральній постановці є використання інноваційної технологічної платформи, яка поєднує реверберацію з новим алгоритмом програмного забезпечення технологій моделювання звуку й створення акустичного оточення.

Використання процесорів ефектів в естрадній музиці можна звести до таких основних видів: *ефекти трансформації частот* (pitch control, chorus, flanger, detune, phaser, vibrato, tremolo/pan, rotary та ін.) – застосовуються найчастіше для створення казкових персонажів у дитячих спектаклях та інших постановках з елементами містики; *ефект панорами* – для створення ілюзії переміщення джерела звуку або його точної локалізації зліва направо або навпаки; *ефекти реверберації* (reverbs, delays, rooms, halls, chambers, plates, ambience, wild spaces, post та ін.) – трапляються майже в кожному концертному номері, а також у студійній практиці (Куш, 2013).

Під час роботи на радіомовлення, озвучення, запису радіоспектаклю/студентської радіогазети часто виникає потреба підкреслити акустичну атмосферу того чи іншого місця дії (великого залу, міського майдану, гірської ущелини тощо). Для цього під час відтворення/запису мови, шумів, співу і музики також використовують потрібні (попередньо сформовані) програми процесора ефектів. Слід пам'ятати, що у радіоспектаклі цей ефект може мати не лише характер зовнішнього оформлення, а й використовуватись як засіб збільшення драматичного дійства. Відповідне враження на глядача/слухача створює шепіт, озвучений/записаний із великим часом реверберації. На тлі музики з реверберацією спостерігається більш детальна розбірливість мови, ніж під

час накладання мови на музику без реверберації. Однак надмірне її збільшення може погіршити чіткість звучання окремих реплік, монологу чи діалогу; чим більший час реверберації, тим менш розбірливою стає мова.

Використовуючи під час відтворення і запису штучну реверберацію, слід пам'ятати, що її ефект стає менш помітним зі зменшенням рівня гучності (волюму). У тому разі, коли передбачено відтворення фонограми з меншим звуком, рівень реверберації повинен бути відносно великим, і навпаки, під час відтворення фонограм із великою гучністю її ефект буде помітний за малого рівня. Вибір програми на DSP-процесорі, установлення часу і ступеня реверберації при електроакустичному тракці або запису різних за жанром дійств залежить від розуміння кінцевого завдання виступу чи звукозапису (Канторік, 2014).

Підбір і застосування будь-яких пресет-програм (заводських установок), за відсутності належних, на процесорі ефектів у момент безпосередньо запису не завжди доцільний. Краще це зробити в період «зведення» звукового матеріалу, коли є можливість підібрати й запрограмувати найвдаліший варіант запису, не затримуючи виконавця. Бажано повною мірою використовувати штучну реверберацію під час студійної роботи над музичними фонограмами. За відсутності потрекового багатоканального запису використовується тільки стерео/моноваріант, можливості застосування просторового ефекту вкрай обмежені, тому що обробці піддається весь звуковий тракт, що далеко не завжди буває виправданим із художнього погляду.

Основні *типи алгоритмів* являють собою декілька видів реверберації приміщень, емуляції, тобто імітації листового (plate), пружинного (spring) і стрічкового (tap, tap delay) ревербераторів. А далі у цифрових ревербераторах фірма – виробник власних алгоритмів (presset) і користувачі (user) формують свої набори звучання шляхом багатьох варіацій параметрів, котрі входять у ці алгоритми (Рейлі, 2017). Якщо стандартних алгоритмів недостатньо, тоді з'єднують разом різні інші типи для отримання більшої кількості комбінованих звучань та ефектів. Фірми-виробники в рекламних цілях указують у технічних паспортах велику кількість (сотні) видів реверберації, у реальній практичній роботі задіяно їх близько п'яти.

Основні *типи реверберації*. *Halls* – програми цієї групи призначені для емуляції різних концертних залів і великих природних акустичних просторів. Використовуються для різних завдань і особливо добре підходять для обробки оркестрової музики. *Rooms* – ці програми призначені для емуляції кімнат і невеликих природних акустичних просторів. Застосовуються для завдань пост-

продакшин, а також для «додавання простору» сольним інструментам у музичному міксі. *Plates* – у цій групі зібрані алгоритми, які емулюють характеристики аналогових листових ревербераторів. Особливо добре підходять для багатотрекового запису і «живих» виступів. *Ambience* – програми цієї групи «додають простір» там, де немає потреби на додаткову реверберацію. Використовуються для завдань пост-продакшин, а також додають «повітря» для вокалу і сольних інструментів. *Spaces* – програми цієї групи призначені для «відтворення» «відкритого рельєфу» як маленьких, так і дуже великих акустичних просторів, а також для звуків, які не існують у природі, для створення спеціальних ефектів. *Chambers* – емуляція характеристик класичної акустичної камери. Добре підходять для акустичних інструментів, барабанів і камерної музики.

Існують ефекти *фазової обробки*: *хорус* (chorus), *фленджер* (flange), *фейзер* (phase) та ефекти *звуквисотної обробки*: *октавер*, *гармонайзер* і *pitch shifter*. Усі вони специфічного характеру і використовуються суто індивідуально (Валімакі, 2012, с. 1423–1429).

Штучні ревербератори можуть бути як моно-, так і стереофонічними. В «істинних стереофонічних» ревербераторах (true reverb) працюють два незалежні процесори для лівого і правого каналів окремо. В інших стереосигнал реверберації формується на основі вхідного монофонічного сигналу, тому всі стереоефекти в таких процесорах – псевдо-стереофонічні. Режимми проходження сигналу в процесорах ефектів дуже різноманітні: Serial, Parallel Dual, Mono Linked, Dual Input (Split), Preset Glide.

Технічно сучасним і прогресивним (до недавнього часу) видом штучної реверберації є *конволюційна реверберація*, основана на використанні алгоритму Convolution з імпульсним відлунням приміщення (Рейлі, 2017). Програмні моделі могли завантажувати у вигляді спеціалізованих файлів. У мережі Internet почали з'являтися бібліотеки імпульсів, а також ревербераційні імпульси реальних приміщень, отримані від різних стаціонарних приладів провідних компаній із виробництва професійних процесорів ефектів: Lexicon, TC Electronic, DigiTech та ін.

Висновки. Незважаючи на високий технічний прогрес у галузі звукових технологій, рівень вихідного аудіоматеріалу все одно залежить від звукорежисера. Жоден програмний процесор ефектів, номінований престижною міжнародною премією MIPA (Musikmesse International Press Award), не може замінити людини та її творчих можливостей! Сьогодні звукорежисер, використовуючи у своїй роботі DSP-ревербератор, який полегшує його роботу над звуковим матеріалом і спонукає до створення нових звукових образів,

є частіше звуковим дизайнером і спроможний бути не менш вагомим особою сценічного дійства нарівні з продюсером чи концертним режисером. Творча робота потребує від нього належного прискіпливого й критичного ставлення до неї на всіх етапах мистецького проєкту, а він, своєю чергою, передбачає базис практичної роботи й технічні знання, розуміння музики та наявність художньо-естетичного смаку.

У ХХ ст. мистецькі технології змінили форми буття одного з найдавніших видів мистецтв – музичного, яке справедливо вважають згустком вокальних та інструментальних формацій. Якщо у ХІХ – першій половині ХХ ст. центральною фігурою у створенні аудіального компоненту сценічних концертів був диригент або хормейстер, то сьогодні формування аудіоряду є переважною звукоорежи-

сера. Фундаментом для музично-звукової концепції естрадно-розважального дійства, як раніше, так і сьогодні, є її композиційно-музична основа та сценарний задум режисера-постановника. Однак сьогодні у процесі створення аудіального складника естрадних концертів (та багатьох інших заходів) особливого значення набуває звукотехнічна основа. І подальші перспективні розроблення інноваційних аудіотехнологій тільки збагатять культурно-мистецький захід своєю яскравістю та індивідуальністю, і нові звукові бібліотеки процесора ефектів для живого звуку (а також студійної роботи) виведуть на новий, більш професійний рівень концертні номери за участю солістів-вокалістів, хорових колективів, інструментальних ансамблів та оркестрів тощо, а також стануть більш привабливими для слухача.

Література:

- Fry D. (2015). *Live Sound Mixing Techniques: The Essential Guide to Mixing Live Audio*. Roztralia Productions, 176 p.
- Омельченко Т.А. (2014). До 90-річчя від дня народження Леоніда Анатолійовича Бильчинського: маестро звука. *Часопис Національної музичної академії України імені П.І. Чайковського*, 1 (22), 109–114.
- Маковій Т.О. (2013). Творча та педагогічна діяльність вітчизняних звукоорежисерів (на прикладі творчості заслуженого працівника культури України звукоорежисера Леоніда Мороза) : дип. робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр». Київ: НАКККиМ, 129.
- Куш С.В. (2013). Електромузичний інструментарій як еволюційний фактор музичної культури ХХ – початку ХХІ століть: дис. ... канд. мистецтвознавства: 26.00.01. Київ, 200.
- Kantorik S. (2014). *Convolution reverb & impulse responses*. Capstone Projects and Master's Theses, 365 p.
- Reilly A., and McGrath D. (2017). *Convolution processing for realistic reverberation*. Audio Engineering Society Convention 98. Audio Engineering Society, 966–979.
- Valimaki V., Parker J., Savioja L., Smith J., Abel J. (2012). Fifty Years of Artificial Reverberation. in *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 20, 5, 1421–1448.

References:

- Fry D. (2015). *Live Sound Mixing Techniques: The Essential Guide to Mixing Live Audio*. Roztralia Productions.
- Omel'chenko T.A. (2014). Do 90-richchya vid dnya narodzhennya Leonida Anatolijovy'cha By'l'chy'ns'kogo: maestro zvuka. *Chasopy's Nacional'noyi muzy'chnoyi akademiyi Ukrayiny' imeni P. I. Chajkovs'kogo: nauk. zhurn. # 1 (22)*. S. 109–114 [in Ukrainian].
- Makoviyi T.O. (2013). Creative and pedagogical activity of domestic sound engineers (on the example of the work of the honored worker of culture of Ukraine, sound engineer Leonid Moroz): diploma. work on obtaining the educational and qualification level «Master». Kyiv: NAKKKiM [in Ukrainian].
- Kushch Y.V. (2013). *Elektromuzychnyi instrumentarii yak evoliutsiinyi faktor muzychnoi kultury XX – pochatku XXI stolit*. Candidate's thesis. Kyiv: National Academy of Culture and Arts Management [in Ukrainian].
- Kantorik S. (2014). *Convolution reverb & impulse responses*. Capstone Projects and Masters Theses.
- Reilly A., McGrath D. (2017). *Convolution processing for realistic reverberation*. Audio Engineering Society Convention 98. Audio Engineering Society.
- Valimaki V., Parker J., Savioja L., Smith J., Abel J. (2012). Fifty Years of Artificial Reverberation. in *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*.