

**МІНІСТЕРСТВО КУЛЬТУРИ ТА СТРАТЕГІНИХ КОМУНІКАЦІЙ
УКРАЇНИ**

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ КЕРІВНИХ КАДРІВ КУЛЬТУРИ І
МИСТЕЦТВ**

ІНСТИТУТ ПЕРФОРМАТИВНИХ МИСТЕЦТВ

Кафедра музичного мистецтва

Кваліфікаційна робота

На здобуття ступеня «Магістр»

на тему:

**«ОСОБЛИВОСТІ ЗВУКОЗАПИСУ СТРУННО-СМИЧКОВИХ
ІНСТРУМЕНТІВ»**

Виконала: здобувач II курсу
магістратури,
групи МММ 23-24,
спеціальності 025 «Музичне мистецтво»
Чепеленко Анастасія Дмитрівна

Керівник: канд. пед. наук, доцент,
відмінник освіти України, зав. кафедри
доцент кафедри музичного мистецтва
Грищенко Валентина Іванівна

Рецензент: канд. мистецтвознавства,
відмінник освіти України, доцент
кафедри виконавських дисциплін №1,
Київської муніципальної академії
музики ім. Р.М.Глієра
Туріна Олена Андріївна

Допустити до захисту
протокол засідання кафедри
№ _____ від _____
Завідувач кафедри

АННОТАЦІЯ

Чепеленко А. Д. Особливості звукозапису струнно-смичкових інструментів. Кваліфікаційна робота освітнього рівня магістр, на правах рукопису. Спеціальність 025 «Музичне мистецтво» (звукорежисура). Київ, 2025.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню особливостей звукозапису струнно-смичкових інструментів, зокрема скрипки, альту, віолончелі та контрабаса, у контексті сучасного музичного виробництва. У роботі розглянуто акустичні властивості цих інструментів, вплив технічної майстерності виконавця, а також методи мікрофонування, вибір обладнання та обробки звуку для забезпечення високої якості запису. Особлива увага приділена специфіці звукозапису скрипки як інструмента з виразним тембром і широким динамічним діапазоном.

Дослідження включає історичний огляд еволюції технологій звукозапису струнно-смичкових інструментів, аналіз сучасних мікрофонних технік (таких як XY, ORTF, Blumlein) та їх впливу на створення просторового звукового образу. Окремо проаналізовано роль акустичного середовища, включаючи вплив реверберації та звукоізоляції, на якість запису. Практична частина роботи базується на власних аудіозаписах, виконаних із застосуванням різних технік мікрофонування та обробки звуку, що дозволило оцінити їхню ефективність у різних умовах.

Результати дослідження підкреслюють необхідність тісної співпраці між звукорежисером і виконавцем для передачі художнього задуму та збереження автентичного звучання інструментів. Робота визначає ключові тенденції сучасного звукозапису, зокрема використання гібридних аналогово-цифрових систем і делікатної обробки звуку для підкреслення природного тембру. Дослідження пропонує практичні рекомендації для звукорежисерів, які допоможуть оптимізувати процес запису струнно-смичкових інструментів.

Ключові слова: звукозапис, струнно-смичкові інструменти, звукоорежисура, мікрофонні техніки, акустика, скрипка, альт, віолончель, контрабас, обробка звуку, еквалізація, реверберація, просторовий звук.

SUMMARY

Chepelenko A. D. Peculiarities of sound recording of stringed and bowed instruments. Qualification work of the educational level of Master, in the form of a manuscript. Specialty 025 "Musical Art" (sound engineering). Kyiv, 2025.

The qualification work is devoted to the study of the features of sound recording of stringed and bowed instruments, in particular the violin, viola, cello and double bass, in the context of modern music production. The work considers the acoustic properties of these instruments, the influence of the technical skill of the performer, as well as methods of miking, the choice of equipment and sound processing to ensure high quality recording. Special attention is paid to the specifics of sound recording of the violin as an instrument with an expressive timbre and a wide dynamic range.

The study includes a historical overview of the evolution of string and bowed instrument recording technologies, an analysis of modern microphone techniques (such as XY, ORTF, Blumlein) and their impact on creating a spatial sound image. The role of the acoustic environment, including the influence of reverberation and sound insulation, on the quality of the recording is separately analyzed. The practical part of the work is based on own audio recordings made using various microphone and sound processing techniques, which allowed us to evaluate their effectiveness in different conditions.

The results of the study emphasize the need for close cooperation between the sound engineer and the performer to convey the artistic intent and preserve the authentic sound of the instruments. The work identifies key trends in modern sound recording, in particular the use of hybrid analog-digital systems and delicate sound processing to emphasize the natural timbre. The study offers practical

recommendations for sound engineers that will help optimize the recording process of string and bowed instruments.

Keywords: sound recording, stringed instruments, sound engineering, microphone techniques, acoustics, violin, viola, cello, double bass, sound processing, equalization, reverberation, spatial sound.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ІСТОРИЧНІ ОСНОВИ ЗВУКОЗАПИСУ СТРУННО-СМИЧКОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ	9
1.1. Історичний розвиток технологій звукозапису струнно-смичкових інструментів.....	9
1.2. Акустичні властивості струнно-смичкових інструментів і технічні аспекти гри виконавця.....	16
Висновки до Розділу 1	24
РОЗДІЛ 2. СУЧАСНІ ТЕХНІКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЗВУКОЗАПИСУ СТРУННО-СМИЧКОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ	26
2.1. Вибір технічного обладнання для звукозапису струнно-смичкових інструментів	26
2.2. Сучасні технології обробки звуку.....	41
Висновки до Розділу 2	69
РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЗВУКОЗАПИСУ СТРУННО- СМИЧКОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ	72
3.1. Методи звукозапису аудіопроектів.....	72
3.2. Аналіз звукозапису музичних творів для струнно-смичкових інструментів.....	82
Висновки до Розділу 3	109
ВИСНОВКИ	113
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	118
ДОДАТКИ	123

ВСТУП

Актуальність дослідження. Струнно-смичкові інструменти, такі як скрипка, альт, віолончель і контрабас, завдяки своїй виразності та унікальному тембру є основою класичної музики, а також знаходять широке застосування в джазі, сучасній популярній музиці та інших жанрах. Їхній звукозапис є складним завданням, яке вимагає від звукорежисера не лише технічних знань, але й глибокого розуміння акустичних особливостей інструментів і технічної майстерності виконавця. Актуальність дослідження зумовлена швидким розвитком технологій звукозапису, появою нових цифрових інструментів і зростанням вимог до якості звуку в умовах конкурентного музичного ринку.

Сучасні цифрові аудіоробочі станції (DAW), високочутливі конденсаторні мікрофони та плагіни дозволяють звукорежисерам досягати високої точності у фіксації звуку. Проте збереження природного тембру, динамічного діапазону та емоційної глибини струнно-смичкових інструментів залишається викликом через їхню чутливість до акустичного середовища, техніки мікрофонування та обробки звуку. Особливо це стосується скрипки, яка завдяки своєму яскравому тембру та широкому частотному діапазону вимагає делікатного підходу до запису. Дослідження особливостей звукозапису цих інструментів сприяє вдосконаленню професійних навичок звукорежисерів і розвитку нових методів створення якісного музичного контенту.

Глобалізація музичної індустрії та зростання популярності стрімінгових платформ, таких як Spotify, Apple Music і YouTube Music, підвищують стандарти якості звукозапису. У цьому контексті дослідження звукозапису струнно-смичкових інструментів є важливим для підготовки фахівців, здатних створювати конкурентоспроможний продукт, що відповідає сучасним вимогам. Соціокультурна значущість роботи полягає в збереженні та популяризації музичної спадщини, адже струнно-смичкові інструменти є невід'ємною частиною світової культури.

Мета дослідження – проаналізувати особливості звукозапису струнно-смичкових інструментів, визначити оптимальні технічні та художні підходи до

їхньої фіксації, з акцентом на специфіку запису скрипки та дослідити вплив сучасних технологій на якість і естетику звукового продукту.

Завдання дослідження:

1. Виконати історичний огляд еволюції технологій звукозапису струнно-смичкових інструментів.
2. Дослідити акустичні властивості струнно-смичкових інструментів і вплив технічних аспектів гри виконавця на якість запису.
3. Проаналізувати сучасні мікрофонні техніки та вибір обладнання для звукозапису.
4. Розглянути методи обробки звуку, включаючи еквалізацію, компресію та просторові ефекти.
5. Проаналізувати методи звукозапису на матеріалі двох вибраних музичних творів різних виконавців.
6. Визначити специфіку звукозапису скрипки в різних музичних контекстах і акустичних умовах.

Об'єкт дослідження – процес звукозапису струнно-смичкових інструментів в контексті музичного виробництва.

Предмет дослідження – особливості звукозапису струнно-смичкових інструментів, включаючи акустичні характеристики, мікрофонні техніки, технічні аспекти гри виконавця та методи обробки звуку.

Методи дослідження. У роботі використано методи наукового аналізу, синтезу, порівняння, узагальнення, а також емпіричні методи, включаючи експериментальний звукозапис і аналіз аудіоматеріалів.

Наукова новизна полягає в комплексному дослідженні особливостей звукозапису струнно-смичкових інструментів із акцентом на специфіку скрипки, а також у практичному аналізі впливу сучасних мікрофонних технік і акустичного середовища на якість звуку. У роботі вперше в Україні розглянуто вплив технічної майстерності виконавця на процес звукозапису в поєднанні з гібридними аналогово-цифровими системами.

Практичне значення. Результати дослідження можуть бути використані звукорежисерами та музичними продюсерами для вдосконалення процесу запису струнно-смичкових інструментів. Практичні рекомендації щодо вибору мікрофонів, технік їхнього розташування та обробки звуку допоможуть оптимізувати робочий процес, особливо для студій з обмеженими ресурсами. Дослідження може слугувати методичним матеріалом для викладання дисциплін, таких як «Звукорежисура», «Мистецтво звукорежисури», «Творча майстерня звукорежисера» та «Виробництво музики».

Апробація результатів дослідження. Апробація результатів дослідження. Чепеленко А. Д. «Особливості звукозапису струнно-смичкових інструментів». Основні положення були представлені на XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Діяльність продюсера в культурно-мистецькому просторі XXI століття: креативність, технології, конструктивізм» 12 грудня 2024 р. у м. Києві.

Публікація. Чепеленко А. Д. Особливості звукозапису струнно-смичкових інструментів: Зб. наукових праць /Упор., наук. ред., відп. за вип.: С.Садовенко. Київ.НАКККіМ, 2025. С. 371-374. 412 с.

Структура роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів (з шістьма підрозділами), висновків, списку використаних джерел і додатків. Основний обсяг роботи становить 114 сторінок, загальний – 123 сторінки, включаючи 5 додатків та 62 найменування літератури.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ІСТОРИЧНІ ОСНОВИ ЗВУКОЗАПИСУ СТРУННО-СМИЧКОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ

1.1. Історичний розвиток технологій звукозапису струнно-смичкових інструментів

Історія розвитку технологій звукозапису є дуже цікавою та багатогранною, вона відображає не тільки технічні інновації, але й соціальні, культурні та художні зміни в суспільстві. Це охоплення понад століття технічних відкриттів, культурних трансформацій і пошуків способів відтворення музики так, щоб її можна було зберігати й передавати з покоління в покоління, забезпечуючи доступність для широкої аудиторії [4]. Звукозапис став одним із найважливіших інструментів для збереження музичної спадщини, а для струнно-смичкових інструментів – ще й ключем до розширення аудиторії: від камерної зали до мільйонів слухачів у всьому світі [2].

Зокрема, струнно-смичкові інструменти, такі як скрипка, альт, віолончель і контрабас, завжди були в центрі уваги через свій неординарний та досить виразний тембр і динаміку, що вимагали особливих підходів у записі. Ця еволюція не тільки змінила способи фіксації музики, але й вплинула на саму виконавську практику, змушуючи музикантів адаптуватися до технічних обмежень і можливостей кожного етапу [1].

Розглянемо струнну групу симфонічного оркестру, яка складається з чотирьох інструментів: *скрипка, альт, віолончель та контрабас*. Вони утворюють основу струнної секції, забезпечуючи гармонійну основу для всього ансамблю. Їхня історія сягає корінням у середньовіччя, коли предки – віоли да гамба та віола д'амур – використовувалися в європейській музиці XV–XVI століть, а повна еволюція до сучасного вигляду відбулася в Італії на початку XVI століття. Альт, наприклад, є найдавнішим у сімействі, зформованим у кінці XV – початку XVI століття, і слугував прототипом для інших [3].

Перші спроби зафіксувати звук наприкінці XIX століття здаються нам нині майже наївними, але вони заклали фундамент для всієї сучасної аудіоіндустрії. Проте саме вони започаткували грандіозний процес, що поєднав науку,

мистецтво та техніку. Фонограф Томаса Едісона, винайдений у 1877 році, записував коливання звуку на восковий валик за допомогою механічного рупора, але водночас мав дуже обмежені можливості: частотний діапазон був вузьким (близько 150–4000 Гц), шумів – безліч, а тембри інструментів звучали спотворено [54].

Скрипка чи віолончель, записана на такий носій, втрачала природне тепло, багатство гармонік і глибину, оскільки рупор краще фіксував гучні звуки, а тихі струнні губилися в шумах. Але головне було інше: уперше з'явилася можливість повернутися до вже виконаної музики, що революціонізувало сприйняття мистецтва.

Наприклад, ранні записи струнно-смичкових інструментів, як виконання Йозефа Йоахіма на грамофонних платівках Еміля Берлінера (1888 рік), страждали від спотворень, але відкрили шлях для комерційного поширення класичної музики, де скрипка, з її чотириструнним квінтовим строем (G-D-A-E), почала звучати як символ емоційної виразності [4].

Механічні записи створювали радше «схему» мелодії, ніж повноцінний звуковий образ, оскільки обмежена чутливість не дозволяла передати нюанси вібрато чи динаміки струнних [4]. Слухачі того часу часто сприймали їх із подивом і захопленням, не помічаючи недоліків, адже сам факт збереження звуку здавався чудом. Важливо й те, що саме на цьому етапі сформувався новий підхід до виконавства: музиканти почали враховувати вимоги апарата, намагаючись грати інтонаційно точніше, голосніше, чіткіше, ближче до рупора, що вплинуло на розвиток спеціальних технік для студійного виконання.

Крім того, для струнно-смичкових інструментів з'явилися адаптації, як *Stroh violin* (винайдена в 1904 році) – посилена версія скрипки з металевим резонатором, яка була гучнішою для механічного запису, дозволяючи краще фіксувати тембр у ранніх студіях, і водночас підкреслювала акустичні властивості корпусу скрипки, де дека з ялини забезпечує швидке поширення вібрацій, а задня частина з клена – стійкість резонансу [55].

Контрабас, як найбільший інструмент у групі (висотою близько 2 м), з його низьким строем (E1-A1-D2-G2) і басовим резонансом, особливо страждав від обмежень рупора, оскільки суббасові частоти (до 40 Гц) не фіксувалися, що змушувало виконавців грати з акцентом на вищі регістри. Технологічні обмеження механічної ери призвели до формування специфічного репертуару для запису: віддавалася перевага творам з яскравою мелодією та помірною динамікою, уникаючи складних поліфонічних текстур, які губилися в акустичному шумі[4].

Ситуація змінилася у 20-х роках ХХ століття, коли почали застосовувати електричні мікрофони, що стали справжнім проривом у чутливості та якості. Вони дозволяли записувати звук із набагато більшою чутливістю, розширюючи частотний діапазон до 50–10000 Гц і динаміку до 40 дБ[4]. Скрипалям і віолончелям уже не потрібно було «форсувати» інструмент, щоб звук дійшов до голки, що дало змогу передавати тонкі нюанси – легато, піанісимо, природні обертони, роблячи записи більш автентичними [6].

Електричний запис став переломним моментом: уперше виникло відчуття, що на платівці можна почути справжню музику, а не лише її умовний відбиток, особливо для струнних, де тембр став багатшим і глибшим, дозволяючи розкрити різноманітність тембрів – від щемливого скрипкового до теплого альтового.

Виконавці отримали свободу вираження, а звукорежисери – нове поле для експериментів із розташуванням мікрофонів і акустикою приміщень, наприклад, конденсаторні мікрофони Георга Нойманна (1928 рік) дозволили фіксувати деталі вібрато [8]. Класичні приклади – оркестрові записи Натана Рахліна в 1960-х, де струнні звучали з глибиною, а віолончель з її строем (C2–C6) і піками в 80–200 Гц передавала глибокий басовий резонанс, що було неможливо в механічному періоді.

Цей період також збігся з появою стереофонічних експериментів Алана Блюмлейна (1931 рік), що додали просторовості, роблячи звучання оркестру з струнними більш об'ємним, і дозволили краще передати omnidirectional характер випромінювання звуку з f-отворів інструментів[4]. У контексті

струнно-смичкових інструментів електричний мікрофон дозволив записувати сольні партії без спотворень, як у творах Яші Гейфеца чи Давида Ойстраха, де нюанси артикуляції стали чіткішими, а квінтовий стрій скрипки (G-D-A-E) підкреслював гармонійну основу [3]. Це також дозволило документувати різні школи виконавства: французьку з її елегантністю, німецьку з потужним звуком, українську з її самобутнім фольклорним колоритом.

40–50-ті роки ХХ століття відкрили нову добу – добу магнітної стрічки, розробленої в Німеччині (AEG Telefunken Magnetophon у 1930-х) і поширеної після Другої світової війни [41]. На відміну від попередніх носіїв, вона давала можливість редагувати звук: вирізати помилки, вирівняти нечітке інтонування, поєднувати найкращі дублі, робити монтаж, що докорінно змінило уявлення про запис: тепер слухач чув уже не просто «документ» виконання, а своєрідний художній продукт, «ідеалізовану» версію, збагачену технічними вдосконаленнями [5].

Для струнних інструментів це було надзвичайно важливо, оскільки дозволило передавати широкий динамічний діапазон: від майже нечутного піанісимо до могутнього форте, без втрат у якості, і фіксувати складний спектр обертонів, що є ключовою акустичною властивістю струнно-смичкових. Звучання стало більш об'ємним, багатшим на нюанси завдяки багатотрековому запису та overdubbing, що дозволило ізолювати струнні треки, наприклад, окремо записати контрабас з його басовим резонансом і піками в низьких частотах, а потім балансувати з вищими скрипковими. Саме завдяки цьому ми сьогодні маємо змогу насолоджуватися записами видатних виконавців середини ХХ століття – Яші Гейфеца, Давида Ойстраха, Мстислава Ростроповича, а також українських майстрів як Ігор Блажков чи Борис Лятошинський. Їхня гра звучить переконливо й тепер, бо стрічка зберегла найтонші відтінки, включаючи гармоніки струнних, і дозволила імітувати акустику залів через реверберацію.

Крім того, системи шумоподавлення, як Dolby NR (1960-ті), мінімізували фонові шуми, роблячи записи струнних чистими, а для віолончелі з її глибоким строем це підкреслило резонанс порожнин корпусу [14]. У джазі це дозволило

експериментувати зі струнними, як у Стефана Граппеллі, де overdubbing створював багатопарові партії віолончелі, розкриваючи її темброву гнучкість від м'якого ліричного до перкусійного pizzicato.

Технологія магнітної стрічки також відкрила нові можливості для камерної музики: струнні квартети могли записуватися з ідеальним балансом між усіма чотирма інструментами, що раніше було технічно неможливо. Записи квартетів Бородіна та Бетховена отримали нове життя завдяки можливості точного мікшування та редагування. Вінілові платівки стали не просто носієм музики, а символом культурної епохи, перетворюючи звукозапис на масовий продукт і стимулюючи популяризацію струнно-смичкових інструментів у домашньому середовищі.

Для музикантів видати платівку означало залишити слід в історії, а для слухачів – створити особистий архів улюбленої музики, де звучання скрипки чи альту ставало частиною повсякденності. Слухачі ж сприймали прослуховування платівок як справжній ритуал: від вибору обкладинки й читання лібрето – до моменту, коли голка торкається доріжки, відтворюючи теплий, аналоговий звук, що ідеально пасував до натуральної акустики струнних.

Звукорежисери прагнули зробити так, щоб скрипка чи віолончель звучала на платівці максимально наближено до концертного виконання, експериментуючи з мікрофонними техніками. Вони розставляли мікрофони, експериментували з акустикою студій, шукали баланс між натуральністю та виразністю, підкреслюючи їхні темброві можливості – від яскравого скрипкового до теплового альтового.

У 1948 році Columbia Records ввела LP-платівки (33 1/3 об/хв), дозволяючи фіксувати довгі класичні твори зі струнними квартетами (квартети Бартока), де контрабас забезпечував басову основу, а скрипки – мелодичну лінію. Ккультура періоду платівки також стимулювала розвиток стереозапису в 1950-х, де струнні отримали просторовість, роблячи прослуховування імерсивним, і розкрила акустичні властивості f-отворів, які посилюють низькі частоти віолончелі. У глобальному контексті це призвело до комерціалізації класичної музики з

струнними, як записи Пабло Казальса на віолончелі, де її строї (C-G-D-A) передавали глибину через аналоговий теплий звук [18].

Важливу роль у розвитку звукозапису відігравали й українські студії, особливо в повоєнні роки, де попри технічні обмеження створювалися унікальні записи, що відображали національну школу струнно-смичкового виконавства [10]. Хоча технічні можливості часто поступалися західним, українські звукорежисери й музиканти створювали унікальні записи камерних ансамблів, оркестрів, сольних виконавців, фіксуючи твори Лятошинського чи Кос-Анатольського з акцентом на струнні партії, де скрипка та альт передавали фольклорні інтонації[10].

Ці записи сьогодні є безцінними архівами: вони передають не лише музику, а й дух епохи, інтонації, стиль виконання, притаманний саме українській школі струнно-смичкових інструментів, з її квінтовым строем, що має велике значення для розвитку гри [3]. Наприклад, архіви Українського радіо зберігають записи симфоній з струнними, де українські майстри, як Давид Ойстрах (уродженець Одеси), демонстрували унікальний стиль, а контрабас з рисами як скрипкового, так і віол сімейства, забезпечував глибокий бас.

У 1960–1970-х українські студії адаптували західні технології, як магнітну стрічку, для локальних записів, сприяючи розвитку національної музичної культури, де віолончель слугувала для камерних творів з багатим спектром обертонів. Київська консерваторія та студії «Мелодія» в Україні стали центрами документування виконавської майстерності вітчизняних музикантів, створюючи золотий фонд української музичної культури [10].

Кінець ХХ століття ознаменувався переходом до цифрових технологій, що радикально змінили звукозапис і дозволили точніше фіксувати акустичні властивості струнно-смичкових. Компакт-диски, представлені Sony та Philips у 1979 році (комерційний запуск у 1982), забезпечували відтворення без шумів і трісків, характерних для платівок і стрічки, з частотою дискретизації 44,1 кГц і динамікою понад 90 дБ, що ідеально пасувало для обертонів до 20 кГц у скрипці[4].

Однак разом із цим виникли суперечки: багато слухачів і музикантів відчували певну «холодність» цифрового звучання, особливо для струнних, де теплота і живе дихання здавалося знівельованим. Для струнно-смичкових інструментів це особливо відчутно: їхня теплота, живе дихання й багатство тембрів іноді здавалося знівельованим у бездоганно рівному цифровому полі, що призвело до дискусій про «аналогову теплоту» проти цифрову точність, з акцентом на матеріали струн – від кишкових до синтетичних, що впливають на гармоніки.

Цифрові аудіоробочі станції (DAW), як Pro Tools (1989), ввели нелінійне редагування, дозволяючи точну обробку струнних треків, наприклад, еквалізацію низьких частот контрабаса [26]. Наприклад, записи Kronos Quartet, де цифрові ефекти посилювали просторовість струнних, розкриваючи їхній віртуозний потенціал.

В Україні цифрова революція дозволила реставрацію архівів, роблячи струнні записи доступними на CD, з фокусом на акустичні закони, відкриті ще Піфагором для струнних коливань [10]. Цифрові технології також дозволили створювати більш точні імітації концертних залів через алгоритми реверберації, що стало особливо важливим для студійних записів струнних ансамблів. Можливість точного аналізу спектру звуку допомогла звукорежисерам краще розуміти акустичні особливості кожного інструмента та оптимізувати їх запис.

Сьогодні технології зробили звукозапис надзвичайно доступним, дозволяючи будь-якому музиканту записувати скрипку чи віолончель навіть удома, використовуючи комп'ютер і кілька мікрофонів, з високорозділеними форматами (24-біт/192 кГц), що фіксують повний спектр обертонів струнних [14]. Проте саме ця доступність породжує нові проблеми: як досягти справді автентичного звучання? Як передати не лише технічні характеристики інструмента, а й його «душу», особливо в гібридних системах, де аналогові мікрофони поєднуються з цифровими плагінами?

Сучасні студії експериментують із мікрофонними схемами (XY, ORTF, Blumlein, Decca Tree), застосовують віртуальні плагіни, які імітують простір

концертних зал, але остаточної відповіді немає, оскільки струнні вимагають балансу між натуральністю та цифровою обробкою, враховуючи їхню будову – від мосту, що передає вібрації, до струн, що генерують «stick-slip» ефект.

Музиканти й звукорежисери й далі шукають баланс між точністю й живим відчуттям, як у binaural audio для імерсивних записів струнних, де контрабас з його омнідирекційним випромінюванням створює просторову глибину. У 2020-х пандемія посилила тенденцію домашніх студій, де струнні записуються з ізоляцією шумів, а українські майстри, як у Національній академії керівних кадрів культури і мистецтв, експериментують з гібридними системами для збереження тембрової різноманітності.

Розвиток технологій штучного інтелекту відкриває нові горизонти: машинне навчання використовується для реставрації історичних записів, покращення якості звуку та навіть створення віртуальних моделей легендарних інструментів [7]. Водночас зростає інтерес до автентичного, мінімально обробленого звуку, що призводить до відродження інтересу до аналогових технологій запису.

В Україні сучасні тенденції включають цифрову реставрацію, де струнні архіви адаптуються для стрімінгу, підкреслюючи еволюцію від віол до сучасних інструментів з народним походженням. Українські звукорежисери активно впроваджують міжнародні стандарти якості, працюючи над створенням національного цифрового архіву музичної спадщини [12].

1.2. Акустичні властивості струнно-смичкових інструментів і технічні аспекти гри виконавця

Акустичні властивості струнно-смичкових інструментів є одним із ключових чинників, які визначають характер їхнього звучання, виконавську манеру та, зрештою, особливості звукозапису [3]. На відміну від електронних інструментів, де звук формується генераторами та фільтрами, у струнних джерелом коливань є реальна фізична система – натягнуті струни, що приводяться у рух смичком, пальцями чи іншими способами. Кожен елемент цієї

системи – струна, дека, корпус, повітряна камера – виконує свою роль у формуванні складного акустичного сигналу, який потім сприймається слухачем безпосередньо або через мікrofони. Саме тому розуміння фізичних процесів, які відбуваються в інструменті під час гри, є необхідною основою як для виконавця, так і для звукорежисера [1].

Передусім варто згадати про основні параметри звуку, які визначають його сприйняття. До них належать частота коливань (що визначає висоту тону), амплітуда (яка сприймається як гучність), тембр (зумовлений спектральним складом сигналу), а також динаміка та атака звуку. Струнно-смичкові інструменти належать до тих, що мають надзвичайно багатий обертоновий склад: окрім основної частоти звучання струни, формується ціла система гармонік, що створює характерне «співуче», «живе» забарвлення тону [3].

Коли виконавець проводить смичком по струні, волоски смичка взаємодіють з поверхнею струни завдяки явищу «прилипання та ковзання» (stick-slip mechanism) або «зчеплення». Також «зчепленню» струни із волосом смичка допомагає каніфоль на волосі смичка. Ця комбінація дає змогу струні коливатися не лише на основній частоті, а й породжувати цілу серію гармонійних коливань. Кожна зміна швидкості смичка, сили натиску чи точки контакту породжує новий спектральний баланс – і саме тому звук живого інструмента неможливо повністю відтворити електронними засобами [16].

Фізична природа звукоутворення на струнних інструментах базується на законах акустики, сформульованих ще Піфагором і Мерсенном. Частота коливань струни залежить від її довжини, натягу, товщини та густини матеріалу. Формула Мерсенна визначає основну частоту: $f = (1/2L)\sqrt{T/\mu}$, де L – довжина струни, T – натяг, μ – лінійна густина. Ця формула пояснює, чому скрипка з коротшими струнами звучить вище за контрабас, і чому натягування струни підвищує її тон [3].

Дуже важливим елементом формування звуку є резонансна система корпусу. У скрипці, альті, віолончелі чи контрабасі струна сама по собі звучала б дуже тихо, якби не мала акустичного підсилювача – дерев'яного корпусу.

Коливання передаються через підставку на верхню деку, далі – на повітряний об'єм усередині корпусу та нижню деку. Виникає складна взаємодія стоячих хвиль, що значно підсилює звук і формує його індивідуальний тембр [1].

Кожен інструмент має свої власні резонансні частоти, які залежать від матеріалу, форми, товщини деревини, якості лаку тощо. Наприклад, якщо взяти для порівняння дві скрипки одного майстра, то вони можуть звучати по-різному: їхня резонансна структура ніколи не буває абсолютно однаковою. Верхня дека, виготовлена зазвичай з ялини або смереки, має волокнисту структуру, що забезпечує швидке поширення звукових хвиль. Нижня дека з клена додає стабільності та відбиває звук назад через повітряну порожнину [3].

F-подібні отвори (ефи) на деці відіграють критичну роль у формуванні низькочастотного спектру. Вони дозволяють повітрю всередині корпусу резонувати з певною частотою (зазвичай близько 280-300 Гц для скрипки), створюючи так званий резонанс Гельмгольца. Дослідження показали, що форма, розмір і розташування f-отворів безпосередньо впливають на потужність і тембр інструмента [14].

Душка (soundpost) – невеликий дерев'яний стрижень між верхньою і нижньою декою – є критично важливим елементом конструкції. Вона не лише підтримує механічну міцність інструмента під натягом струн, але й передає вібрації між деками, створюючи складну резонансну систему. Невелике зміщення душки може кардинально змінити звучання інструмента, тому її точне позиціонування є важливою частиною налаштування[1].

Особливу роль у звучанні відіграє смичок, який є не просто знаряддям для приведення струни у коливання, а важливим тембровим інструментом. Від типу смичка, натягу волосу, якості каніфолі та технічних навичок виконавця залежить дуже багато. Тонкі зміни кута смичка або швидкості руху можуть кардинально змінити акустичну картину: з'являються додаткові високочастотні компоненти, посилюється або навпаки приглушується резонанс корпусу, змінюється атака тону[16]. Сучасні смички виготовляються переважно з бразильського дерева пернамбуку (*Paubrasilia echinata*), яке має оптимальне співвідношення міцності,

гнучкості та ваги. Історично цінуються смички майстрів Франсуа Турта (XVIII-XIX ст.), які встановили стандарт конструкції. Волосся смичка – традиційно з хвоста коня – обробляється каніфоллю (смолою хвойних дерев), що створює необхідне тертя зі струною[18].

Для звукорежисера ці нюанси часто є викликом: потрібно точно підібрати положення мікрофона, щоб зберегти природний баланс між яскравістю верхніх обертонів і теплим, об'ємним звучанням резонуючої деки. Надто близьке розташування мікрофона може зафіксувати небажані шуми смичка, тоді як надто віддалене – втратити деталі артикуляції[4].

Ще один аспект, який варто враховувати, – це вплив позиції гри та способу звуковидобування на акустичні характеристики інструмента. Наприклад, коли виконавець грає ближче до підставки (*sul ponticello*), спектр зміщується в бік вищих гармонік, звук стає яскравішим, іноді різким, з металевим відтінком. Навпаки, гра біля грифу (*sul tasto*) створює м'яке, приглушене звучання з домінуванням нижчих обертонів[16]. Такі зміни добре помітні не лише на слух, а й на спектрограмі: форма спектру сигналу змінюється відповідно до точки прикладання смичка. У реальному виконанні ці позиції можуть комбінуватися в межах однієї фрази, створюючи динамічний, «дихаючий» тембровий малюнок. Сучасні композитори активно використовують ці можливості, створюючи партитури з детальними вказівками щодо точки контакту смичка [14].

Додаткові артикуляційні прийоми значно розширюють темброву палітру струнних:

- *Pizzicato* (щипок) – створює короткий, перкусійний звук із швидким загасанням
- *Col legno* (удар дерев'яною частиною смичка) – дає сухий, стукотливий тембр
- *Tremolo* (швидке повторення одного звуку) – створює тремтливу, напружену текстуру
- *Flageolet* (флажолети) – призводить до появи чистих обертонів з флейтовим забарвленням

- *Glissando* – ковзання по струні створює безперервну зміну висоти
- *Vibrato* – періодична зміна висоти тону додає теплоти та експресії

Не менш суттєвою є різниця між окремими інструментами струнно-смичкової групи. Хоча принцип звуковидобування у них спільний, акустичні параметри відрізняються. Скрипка, маючи найвищий регістр і найменші розміри корпусу (довжина близько 35,5 см), продукує звук з домінуванням середньо- та високочастотних гармонік. Її діапазон від G3 (196 Гц) до E7 (2637 Гц) і вище дозволяє виконувати найскладніші віртуозні пасажі[3].

Альт має глибше забарвлення, дещо розмитий спектр через більший об'єм резонатора (довжина 38-43 см). Його строй на квінту нижче скрипки (C3-G3-D4-A4) надає звучанню особливої теплоти та «матовості» тембру. Історично альт часто виконував супроводжуючу роль, але у ХХ столітті композитори, як Пауль Хіндеміт та Дьордь Лігеті, створили значний сольний репертуар для цього інструмента[3].

Віолончель вирізняється потужним низькочастотним компонентом і дуже насиченим тембром у середньому регістрі (діапазон від C2 до A5). Її більший корпус (довжина близько 75 см) дозволяє створювати глибокий, співучий звук, який часто порівнюють з людським голосом. Віолончель займає унікальну нішу між басовим фундаментом і мелодичними голосами, що робить її незамінною як в оркестрі, так і в камерній музиці[3].

Контрабас завдяки своїм габаритам (висота близько 2 м) і низькому строю (E1-A1-D2-G2, іноді з розширенням до C1), формує повільні коливання з великою кількістю обертонів, що потребує особливо уважного підходу до мікрофонування, щоб уникнути втрат у низькочастотному діапазоні. У джазі та сучасній музиці контрабас часто використовується в техніці *pizzicato*, створюючи ритмічну основу (*walking bass*)[3].

Важливим є і технічний аспект виконавства – не лише фізичне положення смичка, а й загальна виконавська культура. Від того, наскільки чисто, впевнено та стабільно виконавець володіє технікою, залежить якість звучання. Навіть

найкраща акустика інструмента не компенсує нестійкого тону чи нерівномірного ведення смичка [16].

Якісне звучання інструменту – це результат гармонійної взаємодії трьох основних чинників: швидкості руху смичка, сили натиску та місця дотику. Саме баланс між цими параметрами створює основу виразності. Недостатній натиск або надмірна швидкість призводять до поверхневого, «шурхотливого» звуку, тоді як надмірний тиск при низькій швидкості може спричинити різкий, «задушений» тон[16].

Виконавець повинен постійно аналізувати якість звуку й адаптувати свої рухи в реальному часі. Це не просто механічна дія, а складний процес саморегуляції, у якому беруть участь як м'язова пам'ять, так і слухова чутливість. Особливе значення має відчуття «опори» звуку – коли смичок ніби «вростає» у струну, створюючи глибокий, насичений тон, який розкриває резонансні можливості інструмента [16].

Розуміння фізичних принципів виникнення звуку на струнно-смичкових інструментах та взаємозв'язку між технікою виконання і акустичною природою інструмента також повинні бути у компетенціях виконавця. Звук – це результат складної взаємодії струн, деки, корпусу інструмента та смичка, а також сили та точності дії виконавця. Кожна деталь у цій системі визначає якість тону[1]:

- *Сила натиску смичка* на струну прямо впливає на амплітуду коливань, що сприймається як гучність; надмірний тиск може призвести до «твердого» або «різкого» тону, в той час як недостатній – до слабкого, неповного звучання

- *Швидкість руху смичка* визначає атакуючі характеристики звуку; рівномірне ковзання волосків дозволяє отримати чистий, стійкий тон, тоді як нерівномірне створює небажані шумові компоненти

- *Точка прикладання смичка* (біля грифа чи біля підставки) формує спектральний баланс – від низьких і середніх частот до високих гармонік[16].

Контроль якості тону це не лише слухова здатність музиканта, а й свідоме використання фізичних закономірностей інструмента. Виконавець повинен

«чути» інструмент у руках: при правильному положенні смичка та силі натиску корпус починає резонувати максимально ефективно, підсилюючи обертони та роблячи тон повним. Тон формується не лише основною частотою, а й системою обертонів [3]. Виконавець має слухати не лише основний звук, а й висоту та чистоту гармонік, регулюючи їх рухом смичка та пальців лівої руки. Завдяки свідомому контролю початку та закінчення тону, музикант може досягати бажаного тембрового забарвлення, формуючи характер музичної фрази – від лагідного легато до виразного форте[16].

Також не менш важлива взаємодія лівої та правої руки. Права рука формує основний акустичний сигнал через смичок, тоді як ліва рука впливає на висоту тону та чистоту інтонації. Тривалі вправи з відкритими струнами та в різних позиціях допомагають розвивати свідоме управління коливаннями: музикант навчається передавати нюанси навіть при мінімальному натиску, зберігаючи повноту звучання [16].

Музикант повинен звикнути аналізувати звук, що виникає, не лише на слух, а й через відчуття корпусу інструмента, зворотний зв'язок від смичка та навіть вібрації пальців. Це дозволяє формувати внутрішню модель ідеального тону, до якого музикант прагне в кожному виконанні та звукозаписі. Розвинене відчуття тактильного контакту зі струною дозволяє виконавцю миттєво коригувати техніку під час гри [16].

Звуковидобування на контрабасі дещо відрізняється від інших струнно-смичкових інструментів. В принципі воно базується на тому ж принципі, що й на інших струнних: волосся смичка, оброблене каніфоллю, чіпляється за струну, створюючи періодичні коливання, які передаються через місток до корпусу. Однак через довжину струн, які у 3-4 рази довші, аніж у скрипки, та їхню масу потрібна значно більша сила тиску - до 10-15 кг, проти 2-5 кг для скрипки[3].

Це призводить до повільнішої атаки звуку: 0,1-0,2 с. проти 0,05 с. у скрипки, але створює потужний, «гудячий» тембр з багатими низькими обертонами з піками в 40-100 Гц. Смичкове звуковидобування (*arco*) на контрабасі часто використовує французький смичок для легшого контролю, на

відміну від німецького для скрипки, що вимагає аркового руху. На початку XIX століття чеські виконавці опрацювали нові прийоми гри: чотирьох- та п'ятипальцеву техніку, що включає arco для оркестрового супроводу [3].

Особливе місце займає щипковий звук (*pizzicato*), який є візитною карткою контрабаса, особливо в джазі, фолку та ритмічних партіях оркестру. На відміну від скрипки чи альту, де *pizzicato* – рідкісна техніка для коротких акцентів (з м'яким, «щипковим» звуком), на контрабасі щипок потужніший через довжину струн: палець (великий або вказівний) «відскакує» від струни, створюючи різкий, перкусійний імпульс з тривалістю 0,5-1 с. і об'ємом на 10-15 дБ гучнішим, ніж на віолончелі [3].

Це дозволяє контрабасу виконувати роль ритмічної основи, як у «walking bass» джазу (виконавці Реджі Воркмен чи Чарлз Мінгус). Техніка варіюється: «snap pizz» (різкий щипок з відскоком) дає «клацаючий» звук, подібний до гітари, тоді як м'який щипок – стійкий бас. На відміну від віолончелі, де *pizzicato* ближче до «пінг-понг» ефекту, контрабасний щипок має глибший резонанс корпусу, що робить його «гучнішим» у записі, але чутливим до мікрофонування. Загалом рекомендовано використовувати низькочастотні мікрофони на 0,5-1 м від f-отворів [14].

У контексті звукозапису чи живого виконання струнно-смичкових інструментів, близьке розміщення мікрофона до виконавця може спровокувати неприємний акустичний ефект, відомий як «фідбек». Це відбувається через те, що посилений звук з зовнішніх моніторів повертається назад у мікрофон, створюючи замкнуте коло посилення: мікрофон фіксує не лише природний тембр інструмента, а й відлуння власного сигналу, що призводить до неконтрольованого зростання амплітуди на певних частотах [14].

Результат – різкий писк, гул чи дисторшн, який не тільки руйнує баланс звучання, але й маскує витонченість вібрато та гармонік струнних. Щоб уникнути цього, рекомендують дотримуватися оптимальної дистанції (зазвичай 30-60 см залежно від акустики) та використовувати спрямовані мікрофони (кардіоїдні, гіперкардіоїдні), що мінімізують чутливість до бічних шумів. Такий

підхід зберігає автентичність виконання, дозволяючи інструменту «дихати» без втручання техніки[4].

Висновки до Розділу 1

Проведене дослідження історичного розвитку технологій звукозапису струнно-смичкових інструментів та акустичних властивостей струнно-смичкових інструментів визначає що поєднання фізики звуку, акустичних властивостей інструмента та свідомого контролю виконавця, є основою високоякісного тембру. Саме це робить можливим точне та виразне звучання струнно-смичкових інструментів, яке легко фіксується у сучасному звукозаписі, забезпечуючи природність, об'ємність і багатство гармонік навіть у цифрових форматах. Крім того, необхідно формувати м'яку та еластичну техніку смичка. Рука виконавця повинна бути вільною, рухи – природними, без зайвої напруги. Лише в такому стані можна досягти стабільності звуку, плавності фразування й виразності артикуляції, що не менш важливо у звукозаписі. Розвинена техніка дозволяє виконавцю зосередитися на музичному змісті, а не на фізичній боротьбі з інструментом.

З погляду звукорежисера, ці принципи мають безпосереднє значення. Розуміння того, як формується звук у руках професійного виконавця, дозволяє коректно обирати техніку запису, розташування мікрофонів та обробку сигналу. Наприклад, у випадку гри *sul ponticello* звук може містити надлишок яскравих гармонік, і звукорежисеру варто або обрати більш «теплий» мікрофон, або дещо змінити положення, щоб пом'якшити надлишкову агресивність спектра. Натомість гра *sul tasto* часто потребує більш чутливого мікрофона з хорошою передачею низьких і середніх частот, щоб не втратити насиченість тембру.

Отже, аналіз фізики звуковидобування демонструє, що звук виникає як результат складної взаємодії натягу струни, смичка, конструкції корпусу та резонансних характеристик деки й повітряного об'єму всередині інструмента. Кожна деталь – від матеріалу струн і деревини до сили натиску та швидкості руху смичка – впливає на амплітуду, спектр обертонів, тембр, динаміку й атаку тону. Виконавець, використовуючи різні точки прикладання смичка, регулюючи його

швидкість та натяг волосу, може цілеспрямовано змінювати спектральний склад тону та акустичні характеристики інструмента. Такий підхід дозволяє досягати бажаного тембрового балансу, чистоти інтонації, глибини звучання та виразності музичної фрази.

Розуміння різниці між окремими струнно-смичковими інструментами також є критично важливим: скрипка, альт, віолончель та контрабас мають різні акустичні властивості та резонансні характеристики, що впливає на вибір мікрофонів, позиціонування виконавця та техніку звуковидобування у процесі запису. Важливим аспектом є і взаємодія лівої та правої руки виконавця, яка дозволяє формувати як інтонаційну точність, так і багатство гармонік.

Отже, висока якість звучання струнно-смичкових інструментів базується на глибокому розумінні фізики коливань, резонансних процесів та свідомому контролі музиканта над інструментом. Ці знання не лише забезпечують ефективне виконання живої музики, але й є необхідною основою для професійного звукозапису, де точність, натуральність та багатство тембру мають вирішальне значення.

Узагальнюючи, можна стверджувати, що акустичні характеристики інструмента і техніка гри виконавця є двома невід'ємними складовими, які взаємодіють і доповнюють одна одну. Лише при гармонійному поєднанні цих факторів можливо досягти природного, повного і виразного звучання струнно-смичкових інструментів, яке зберігає свою естетичну цінність у будь-якому форматі – від живого виконання до сучасного цифрового звукозапису. Це розуміння є фундаментальним для подальшого аналізу практичних аспектів звукозапису струнних інструментів, який буде розглянуто в наступних розділах дослідження.

РОЗДІЛ 2. СУЧАСНІ ТЕХНІКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЗВУКОЗАПИСУ СТРУННО-СМИЧКОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ

2.1. Вибір технічного обладнання для звукозапису струнно-смичкових інструментів

Вибір мікрофонів та технік їх розміщення є одним із найважливіших факторів, що визначають якість звукозапису струнно-смичкових інструментів. На відміну від багатьох інших інструментів, струнні мають складний просторовий характер звуковипромінювання, багатий обертоновий спектр і широкий динамічний діапазон, що вимагає особливо ретельного підходу до вибору мікрофонів та їх позиціонування[44]. Сучасна звукорежисура пропонує широкий арсенал технічних рішень – від класичних стереофонічних пар до багатоканальних просторових систем, кожна з яких має свої переваги та обмеження залежно від конкретних завдань запису [48].

Вибір типу мікрофона є першим і найважливішим кроком у підготовці до звукозапису. Сучасна індустрія пропонує три основні типи мікрофонів, кожен з яких має свої акустичні характеристики, що по-різному взаємодіють зі звучанням струнних інструментів [48].

Конденсаторні мікрофони традиційно вважаються найкращим вибором для запису струнно-смичкових інструментів завдяки їхній високій чутливості, широкому частотному діапазону (зазвичай від 20 Гц до 20 кГц) та низькому рівню власних шумів. Принцип їхньої роботи базується на зміні ємності між двома обкладками конденсатора при впливі звукових хвиль, що забезпечує надзвичайно точну передачу найтонших нюансів звучання [42]. Конденсаторні мікрофони здатні фіксувати швидкі транзйєнти атаки смичка, складну структуру обертонів та тонкі динамічні переходи від піанісимо до форте, що є критично важливим для струнних інструментів [29].

Серед конденсаторних мікрофонів виділяють мікрофони з великою діафрагмою (діаметр понад 25 мм) та малою діафрагмою (менше 25 мм)[42]. Великодіафрагмові мікрофони, як Neumann U87, AKG C414 або Audio-Technica AT4050, створюють більш теплий, об'ємний звук із підкресленими середніми

частотами, що робить їх ідеальними для сольного запису скрипки або віолончелі, коли потрібно передати емоційну виразність та тембральне багатство інструмента[21]. Малодіафрагмові мікрофони, такі як Neumann KM 184, DPA 4011 або Schoeps CMC6, відрізняються більш рівною частотною характеристикою, точнішою передачею транз'єнтів та кращою фазовою когерентністю, що робить їх незамінними для стереозапису струнних ансамблів, квартетів та оркестрових секцій [30].

Динамічні мікрофони працюють за принципом електромагнітної індукції: звукові хвилі приводять у рух діафрагму, до якої прикріплена котушка, що рухається в магнітному полі, генеруючи електричний сигнал. Хоча динамічні мікрофони традиційно вважаються менш придатними для запису струнних через обмежений верхній частотний діапазон (зазвичай до 15-16 кГц) та меншу чутливість до тихих звуків, сучасні високоякісні динамічні мікрофони, як Shure SM7B або Electrovoice RE20, знаходять застосування в специфічних ситуаціях [50]. Їхня перевага – стійкість до високого звукового тиску та відсутність потреби у фантомному живленні – робить їх корисними при записі контрабаса в джазових або рок-контекстах, де потрібен щільний, «пунчовий» звук без надлишку високочастотних обертонів [48].

Стрічкові мікрофони представляють особливу категорію, що поєднує деякі переваги обох попередніх типів. Вони працюють за принципом електромагнітної індукції, але замість котушки використовують тонку металеву стрічку, що коливається в магнітному полі. Класичні стрічкові мікрофони, як Royer R-121, AEA R84 або Coles 4038, створюють надзвичайно природне, «тепле» звучання з м'яким згладжуванням високих частот, що може бути вигідним при записі дещо агресивних або яскравих інструментів [47].

Особливістю стрічкових мікрофонів є їхня природна вісімкоподібна (біполярна) характеристика спрямованості та рівна частотна характеристика в осьовому напрямку, що робить їх відмінним вибором для запису струнних ансамблів у стилі «vintage» або для створення теплового, аналогового звучання в сучасних записах [47]. Важливо відзначити, що вибір типу мікрофона залежить

не лише від його технічних характеристик, а й від акустики приміщення, характеру музичного матеріалу, індивідуальних особливостей інструмента та естетичних уподобань звукорежисера[44]. Досвідчені фахівці часто використовують комбінації різних типів мікрофонів, створюючи багат шаровий звуковий образ, що поєднує точність конденсаторних мікрофонів, щільність динамічних та теплоту стрічкових[53].

Характеристика спрямованості мікрофона визначає його чутливість до звуку, що надходить з різних напрямків, і є критично важливим параметром при виборі та позиціюванні мікрофонів для запису струнно-смичкових інструментів [48]. Розуміння цих характеристик дозволяє звукорежисеру контролювати баланс між прямим звуком інструмента та акустикою приміщення, мінімізувати небажані відлуння та створювати бажану просторову картину [24].

Омнідирекційні (всеспрямовані) мікрофони мають рівну чутливість у всіх напрямках, фіксуючи звук однаково з усіх боків. Їхня частотна характеристика зазвичай найбільш рівна, без ефекту близькості (*proximity effect*), що робить звучання природним незалежно від відстані до джерела звуку[48]. Для струнних інструментів омнідирекційні мікрофони є чудовим вибором при записі в акустично якісних приміщеннях – концертних залах, церквах, студіях з продуманою акустикою – де реверберація та простір є невід'ємною частиною бажаного звучання[29]. Класичні моделі як Neumann M50 або DPA 4006 забезпечують надзвичайно природну передачу тембру скрипки або віолончелі в гармонійній взаємодії з акустикою залу, що особливо важливо для запису камерної музики або сольних творів з акомпанементом[42].

Однак омнідирекційні мікрофони мають суттєвий недолік – вони однаково чутливі до відбитих звуків та сторонніх шумів, що може бути проблематичним в акустично недосконалих приміщеннях або при багатомікрофонному записі, де потрібна ізоляція окремих інструментів[44]. Тому в студійних умовах вони часто використовуються як «мікрофони простору» (*room mics*) на відстані 2-5 метрів від інструмента, доповнюючи ближчі спрямовані мікрофони та додаючи глибину та об'ємність звучанню [53].

Кардіоїдні мікрофони є найпоширенішим типом спрямованості завдяки своїй універсальності. Їхня діаграма спрямованості має форму серця (звідси назва), забезпечуючи максимальну чутливість спереду, зменшену чутливість з боків (приблизно на 6 дБ на 90°) та мінімальну чутливість ззаду (пригнічення близько 20-25 дБ)[24]. Це дозволяє сфокусуватися на звучанні інструмента, одночасно захоплюючи певну кількість простору та мінімізуючи небажані відлуння чи сторонні звуки з тилу. Для струнних інструментів кардіоїдні мікрофони є золотою серединою: вони забезпечують достатню ізоляцію для чіткого, артикульованого звучання, але при цьому не роблять звук надто «сухим» чи «мертвим»[48].

Важливою особливістю кардіоїдних мікрофонів є ефект близькості – підсилення низьких частот при наближенні до джерела звуку. Для контрабаса цей ефект може бути корисним, додаючи глибини та потужності басовому резонансу, але для скрипки чи віолончелі потрібна обережність: надто близьке розташування може створити гулкість та порушити природний тембральний баланс[44]. Класичні кардіоїдні мікрофони як Neumann KM 184, AKG C451 або Sennheiser МКН 40 є стандартом для студійного запису струнних завдяки збалансованому співвідношенню прямого звуку та простору[42].

Гіперкардіоїдні та суперкардіоїдні мікрофони мають ще більш вузьку діаграму спрямованості, забезпечуючи максимальну ізоляцію від бічних звуків. Гіперкардіоїда має максимальне пригнічення на кутах близько 110° , тоді як суперкардіоїда – приблизно на 126° . Важливою особливістю цих характеристик є наявність невеликої області чутливості ззаду (задня пелюстка), що потрібно враховувати при розташуванні мікрофонів відносно моніторів, інших інструментів чи джерел шуму [24].

Для струнних інструментів гіперкардіоїдні мікрофони корисні в ситуаціях, коли потрібна максимальна ізоляція – наприклад, при записі сольної партії скрипки в оркестрі, при багатомікрофонному записі струнного квартету з окремими мікрофонами на кожен інструмент, або в акустично проблемних приміщеннях з надлишковою реверберацією. Моделі як Sennheiser МКН 50,

Schoeps CCM 41 або DPA 4011 забезпечують винятковий рівень деталізації та чіткості, дозволяючи фіксувати найтонші нюанси артикуляції та динаміки без втручання сторонніх звуків[29].

Вісімкоподібна (біполярна, або figure-8) характеристика забезпечує рівну чутливість спереду та ззаду при повному пригніченні звуків з боків. Це робить такі мікрофони ідеальними для певних стереотехнік (Blumlein, MS) та для запису двох інструментів одночасно, розташованих обабіч мікрофона[48]. Стрічкові мікрофони природно мають вісімкоподібну характеристику, що, у поєднанні з їхнім теплим звучанням, робить їх цікавим вибором для експериментальних записів струнних дуетів або для створення специфічної просторової картини в камерних композиціях [47].

Сучасні мікрофони з перемикачем характеристик спрямованості (як AKG C414, Neumann U87 ai, Audio-Technica AT4050) дозволяють звукорежисеру адаптувати один і той же мікрофон до різних акустичних ситуацій, що є неоціненною перевагою в динамічних умовах студійної роботи чи запису в різних локаціях [21]. Стерефонічний запис є стандартом сучасної звукорежисури, оскільки він дозволяє передати не лише тембр та динаміку інструмента, а й його просторове розташування, ширину звукової сцени та взаємодію з акустикою приміщення [4]. Для струнно-смичкових інструментів, звучання яких є природно багатовимірним та просторовим, вибір правильної стереотехніки критично важливий [44]. Існує кілька класичних підходів, кожен з яких має свої переваги, недоліки та специфічні області застосування [30].

Техніка XY є однією з найпростіших та найнадійніших стерефонічних конфігурацій. Два кардіоїдні мікрофони (зазвичай однакової моделі для забезпечення тембрального балансу) розташовуються максимально близько один до одного, практично в одній точці, але розвернені під кутом 90-120° один відносно одного[30]. Така конфігурація створює так званий «збіжний стереозапис» (coincident stereo), де різниця між каналами формується виключно за рахунок різниці інтенсивності (рівня) звуку, що надходить з різних напрямків, без різниці у часі прибуття сигналу[48].

Головна перевага техніки XY – монофонічна сумісність: при зведенні стереосигналу в моно не виникає фазових проблем та взаємного гасіння частот, оскільки обидва мікрофони знаходяться практично в одній точці простору[30]. Це робить XY надійним вибором для широкомовних трансляцій, стрімінгу та інших ситуацій, де можливе монофонічне відтворення.

Для струнних інструментів XY забезпечує чітку локалізацію джерела звуку в центрі стереобазис з помірним відчуттям ширини, що добре підходить для сольних записів скрипки, альти або віолончелі, де потрібен сфокусований, артикульований звук без надмірного простору[44]. Однак техніка XY має обмеження: вона створює відносно вузьку стереобазис та менш природне відчуття простору порівняно з техніками, що використовують часову різницю[48]. Кут між мікрофонами можна варіювати: менший кут (90°) дає вузьку, більш сфокусовану стереокартину, тоді як більший кут ($120-135^\circ$) розширює стереобазис, але може створити «дірку» в центрі, де звук здається менш щільним [30].

Техніка ORTF (Office de Radiodiffusion-Télévision Française) була розроблена Французьким національним радіомовленням у 1960-х роках та швидко стала одним із стандартів професійного звукозапису [4]. У цій конфігурації два кардіоїдні мікрофони розташовуються на відстані 17 см один від одного (що приблизно відповідає відстані між людськими вухами) і розвернені під кутом 110° один відносно одного[30]. Така геометрія створює комбінацію інтенсісної та часової різниці між каналами, імітуючи природне сприйняття людським слухом[48].

ORTF забезпечує чудовий баланс між чіткістю локалізації джерел звуку та природним відчуттям простору. Часова затримка між мікрофонами (близько 0,5 мс для звуків, що надходять збоку) додає глибини та об'ємності звучанню, роблячи стереокартину більш природною [30]. Для струнних ансамблів, квартетів та камерних оркестрів ORTF є класичним вибором: техніка дозволяє точно передати розташування кожного інструмента в просторі, зберігаючи при цьому цілісність загального звучання та природну взаємодію між виконавцями

[48]. Важливо точно дотримуватися рекомендованих параметрів (17 см відстані та 110° кута): зміна цих величин може призвести до порушення балансу між часовою та інтенсісною інформацією, що негативно вплине на стереообраз[22]. ORTF також зберігає прийнятну монофонічну сумісність завдяки відносно невеликій відстані між мікрофонами, хоча і не таку ідеальну, як XY[48].

Техніка Blumlein названа на честь британського інженера Алана Блюмлейна, який запатентував стереофонічний запис у 1931 році. Ця техніка використовує два мікрофони з вісімкоподібною характеристикою спрямованості, розташовані в одній точці під кутом 90° один до одного[30]. Така конфігурація створює «справжній» стереозапис, де кожен мікрофон однаково чутливий до звуків спереду та ззаду, але повністю відсікає звуки збоків[48]. Blumlein створює винятково природне та просторове звучання з чудовою глибиною та об'ємністю.

Оскільки вісімкоподібні мікрофони фіксують звук і спереду, і ззаду, ця техніка захоплює значну кількість акустики приміщення, що робить її ідеальною для запису в якісних концертних залах[44]. Для струнних інструментів Blumlein забезпечує надзвичайно природне звучання з прозорою локалізацією та реалістичним відчуттям простору, що особливо цінно для камерної музики та сольних творів з акомпанементом [48].

Однак Blumlein має суттєві обмеження: техніка вимагає акустично якісного приміщення, оскільки захоплює багато відбитого звуку; монофонічна сумісність прийнятна, але при наявності сильних відлунь можуть виникати фазові проблеми[48]. Класичні стрічкові мікрофони (Royer SF-24, AEA R88) спеціально розроблені для техніки Blumlein, поєднуючи два вісімкоподібні елементи в одному корпусі[47].

Техніка AB (розведена пара) використовує два омнідирекційні (рідше кардіоїдні) мікрофони, розташовані на певній відстані один від одного (зазвичай від 50 см до 3 метрів) без визначеного кута розвертання. Стереообраз формується виключно за рахунок часової різниці прибуття звуку до мікрофонів: джерело звуку зліва досягне лівого мікрофона раніше, ніж правого, і навпаки[48]. AB

створює широку, просторову стереокартину з дуже природним відчуттям простору та глибини.

Відстань між мікрофонами визначає ширину стереобазис: більша відстань дає ширший стереообраз, але може створити «дірку» в центрі, де звук здається розмитим або нечітко локалізованим [30]. Для струнних ансамблів та оркестрів АВ забезпечує розкішне, об'ємне звучання з чудовою передачею акустики залу, але потребує обережного балансування відстані між мікрофонами та відстані до джерела звуку [44]. Недоліком АВ є поганішчастотна характеристика при інтенсивному згортанні до моно: часова різниця може призвести до фазових зсувів та гребінчастої фільтрації певних частот[48]. Тому АВ найкраще підходить для випусків, де гарантовано стереофонічне відтворення, та використовується переважно як додаткова «пара простору» в багатомікрофонних налаштуваннях[53].

Техніка Decca Tree була розроблена звукорежисерами британського лейблу Decca Records у 1950-х роках спеціально для запису великих симфонічних оркестрів[4]. Класична конфігурація використовує три омнідирекційні мікрофони, розташовані у вигляді трикутника: центральний мікрофон та два бічні на відстані приблизно 2 метри один від одного, при цьому центральний може бути дещо попереду або позаду бічних. Вся конструкція зазвичай підвішується над оркестром на висоті 3-5 метрів[48].

Для струнних секцій симфонічного оркестру Decca Tree забезпечує неперевершену ширину та глибину стереокартини, чудову локалізацію окремих груп інструментів (перші скрипки, другі скрипки, альти, віолончелі, контрабаси) та природну взаємодію з акустикою залу [44]. Центральний мікрофон забезпечує стабільність та повноту звучання центру, запобігаючи «дірці», характерній для простої АВ-пари. Техніка вимагає якісного приміщення з хорошою акустикою та достатнім простором для розміщення мікрофонної конструкції[48].

Техніка MS (Mid-Side) є унікальною гнучкою системою, яка використовує два мікрофони: один спрямований вперед (зазвичай кардіоїдний або омнідирекційний, записує «серединний» сигнал M) та другий з

вісімкоподібною характеристикою, розташований перпендикулярно першому (записує «бічний» сигнал S). Ці сигнали потім декодуються математично ($L = M + S$, $R = M - S$) для створення стереофонічного зображення[30].

Унікальна перевага MS полягає в можливості регулювання ширини стереобазиса вже після запису, змінюючи співвідношення між M та S сигналами. Це надає звукорежисеру безпрецедентний контроль: можна зробити звук більш просторовим або, навпаки, більш сфокусованим, не повертаючись до повторного запису. MS також забезпечує ідеальну монофонічну сумісність, оскільки серединний сигнал M вже є повноцінним монофонічним записом [30]. Для струнних інструментів MS є чудовим вибором у ситуаціях, коли потрібна гнучкість у пост-продакшні або коли звукорежисер не впевнений в оптимальній ширині стереобазиса для конкретного музичного матеріалу[53]. Техніка також популярна для запису в локаціях з непередбачуваною акустикою, де можливість коригування ширини стерео після запису є цінною страховкою [44].

Вибравши тип мікрофона та стереотехніку, звукорежисер стикається з критично важливим питанням: на якій відстані та під яким кутом розташувати мікрофони відносно інструмента? Це рішення визначає баланс між прямим звуком інструмента та акустикою приміщення, між деталізацією та природністю, між інтимністю та просторовістю звучання [29].

Запис скрипки вимагає особливої уваги до позиціонування мікрофонів через складний характер звуковипромінювання цього інструмента. Скрипка не випромінює звук рівномірно у всіх напрямках: високі частоти концентруються більше в площині деки та вперед, тоді як нижні частоти мають більш рівномірний розподіл[16]. Класичне розташування для сольного запису – на відстані 40-80 см перед інструментом, трохи вище рівня підставки та зміщене у бік грифа приблизно на 20-30 см від центральної осі корпусу [44].

Така позиція забезпечує збалансоване звучання: достатню кількість високочастотних обертонів без надлишкової яскравості чи металевості, повноту середніх частот, які несуть основну тембральну інформацію, та природний басовий резонанс корпусу[44]. Близьке розташування (менше 30 см) може

призвести до надмірної деталізації технічних звуків – шурхоту смичка, дихання виконавця, механічних шумів – та до порушення тембрального балансу через ефект близькості у кардіоїдних мікрофонів[24]. Дуже віддалене розташування (понад 1,5 м) захопить забагато акустики приміщення, що може розмити чіткість артикуляції та зменшити відчуття інтимності сольного звучання [30].

При записі двох скрипок у дуеті або квартеті важливо враховувати відстань між виконавцями та характер їхньої взаємодії[53]. Якщо музиканти сидять близько один до одного і активно взаємодіють (як у класичному струнному квартеті), одна стереопара на відстані 1-1,5 м може захопити обидва інструменти з хорошим балансом[30]. Якщо ж потрібна більша ізоляція (наприклад, для окремого мікшування кожного інструмента), можуть використовуватися окремі мікрофони на кожен скрипку з гіперкардіоїдною характеристикою[24].

Запис альт має свої особливості через дещо більший розмір інструмента та нижчий стрій[1]. Альт випромінює більше низьких та середніх частот, а його звучання є більш «матовим» та м'яким порівняно зі скрипкою[16]. Типова відстань мікрофона – 50-100 см, з позиціонуванням дещо вище рівня підставки та трохи зміщеним до грифа. Важливо не розташовувати мікрофон надто близько до f-отворів, оскільки це може створити надмірне підсилення низьких середніх частот (200-400 Гц), що зробить звучання гулким та нечітким[14].

Оскільки альт часто виконує гармонійну або контрапунктичну роль в ансамблях, а не мелодичну лінію, важливо забезпечити таке позиціонування мікрофона, яке дозволить йому природно інтегруватися в загальну текстуру, не виступаючи надто виразно, але і не губляючись в ансамблі. У струнних квартетах альт зазвичай сидить у центрі або трохи зліва від центру, що потрібно враховувати при стереозаписі[53].

Запис віолончелі представляє особливі виклики через значний розмір інструмента, вертикальну орієнтацію гри та складний характер звуковипромінювання. Віолончель випромінює звук у всіх напрямках: через деку вперед, через задню частину корпусу назад, через f-отвори та через шпиль вниз

у підлогу[16]. Ця багатовимірність створює унікальний простір навколо інструмента, що потрібно враховувати при мікрофонуванні[44].

Класична позиція для сольного запису віолончелі – розташування мікрофона на відстані 60-120 см, на висоті приблизно 1-1,5 м від підлоги (тобто на рівні верхньої частини корпусу або трохи вище), дещо зміщено вперед та вбік від інструмента під кутом близько 45° відносно центральної осі [44]. Така позиція дозволяє збалансовано захопити як прямий звук з деки, так і резонанс корпусу, уникаючи надмірного акценту на окремих частотних областях.

Важливою особливістю є відображення звуку від підлоги: підлога виступає як додатковий резонатор, особливо для низьких частот, і її матеріал (дерево, лінолеум, бетон) суттєво впливає на звучання [14]. У деяких випадках звукорежисери використовують додатковий мікрофон, розташований нижче, під кутом вгору, щоб захопити низькочастотну енергію, що передається через шпиль у підлогу, але цей прийом вимагає обережного застосування, щоб уникнути фазових проблем при змішуванні з основним мікрофоном[48].

При записі віолончелі в камерних ансамблях потрібно враховувати її роль як басового фундаменту та забезпечити достатню відстань від інших інструментів, щоб уникнути просочування (leakage) скрипок або альтів в мікрофон віолончелі, що може ускладнити балансування в міксі. У струнному квартеті віолончель зазвичай сидить праворуч, що визначає її місце в стереопанорамі [53].

Про запис контрабаса було зазначено розділом раніше, він є найскладнішим серед усіх струнно-смичкових інструментів через його розмір, низький частотний діапазон та різноманітність технік звуковидобування (*arco* та *pizzicato*). Контрабас випромінює звук у всіх напрямках, при цьому низькі частоти (40-100 Гц) мають практично омнідирекційний характер, тоді як вищі обертони більш спрямовані[44].

Для смичкового звуковидобування (*arco*) типова відстань мікрофона становить 80-150 см, з розташуванням на висоті приблизно 1,5-2 м від підлоги – тобто на рівні верхньої частини корпусу або підставки[48]. Позиціонування трохи

збоку та спереду від інструмента забезпечує хороший баланс між низькочастотним резонансом корпусу та високочастотними обертонами від смичка. Занадто близьке розташування може призвести до неприродного підсилення певних резонансних частот корпусу, створюючи гулке або бубняче звучання.

Для запису *pizzicato*, особливо в джазовому або фольк-контексті, мікрофон часто розташовують трохи ближче (50-100 см) та орієнтують у напрямку підставки, щоб краще захопити перкусійний характер атаки та чіткість артикуляції [21]. Деякі звукорежисери використовують два мікрофони на контрабас: один для захоплення низькочастотного резонансу корпусу (розташований на рівні f-отворів), другий для деталізації атаки та високих обертонів (спрямований на область підставки або грифа). Ці два сигнали потім зводяться з відповідним балансуванням та еквалізацією.

Важливо враховувати, що контрабас створює значний звуковий тиск на низьких частотах, тому мікрофон повинен мати достатній запас динамічного діапазону, щоб уникнути спотворень. Крім того, низькочастотна енергія від контрабаса може викликати резонанси та стоячі хвилі в приміщенні, що потрібно контролювати через акустичну обробку студії або вибір відповідної позиції в залі.

У професійній практиці звукорежисери рідко обмежуються однією парою мікрофонів. Сучасний підхід часто передбачає використання багатомікрофонних налаштувань, що поєднують різні техніки та типи мікрофонів для досягнення максимальної гнучкості в пост-продакшні. Типова багатомікрофонна конфігурація для запису струнного квартету може включати:

- *Основну стереопару* (наприклад, ORTF або XY) на відстані 1,5-2,5 м від ансамблю, що забезпечує загальний збалансований звук з природною стереокартиною
- *Акцентні мікрофони* (spot mics) на кожен інструмент на відстані 40-80 см для захоплення деталей та забезпечення можливості індивідуального балансування

- *Мікрофони простору* (room mics або ambience mics) на відстані 3-6 м або більше для захоплення акустики приміщення та створення відчуття глибини

Така конфігурація дозволяє звукорежисеру створити багат шаровий звуковий образ: основна стереопара забезпечує природність та цілісність звучання ансамблю, акцентні мікрофони дають можливість виділити сольні партії або скоригувати баланс між інструментами, а мікрофони простору додають глибини, об'ємності та зв'язку з акустичним середовищем[43].

При використанні багатомікрофонних налаштувань критично важливо контролювати фазові співвідношення між мікрофонами. Коли один і той же звук досягає різних мікрофонів у різний час, при змішуванні цих сигналів можуть виникати фазові зсуви, що призводять до гребінчастої фільтрації – характерного металевого або порожнистого звучання з провалами на певних частотах. Для мінімізації фазових проблем рекомендується дотримуватися «правила трьох до одного»: відстань між двома мікрофонами повинна бути принаймні втричі більшою за відстань від кожного мікрофона до його джерела звуку[27].

Сучасні цифрові аудіоробочі станції (DAW) пропонують інструменти для візуалізації та коригування фазових співвідношень: фазові метри, графіки кореляції, плагіни для зсуву фази або часової затримки[9]. Досвідчені звукорежисери також використовують простий спосіб перевірки фазових проблем: прослуховування запису в моно. Якщо при згортанні стереосигналу в моно якість звучання різко погіршується (зникає певний інструмент, з'являється порожнистість або металевість), це свідчить про фазові проблеми між мікрофонами [33].

Акустичні характеристики приміщення є одним із найважливіших факторів, що визначають вибір мікрофонів та технік їх розташування. Ідеальна акустика для запису струнних інструментів має збалансовану реверберацію (час реверберації RT60 близько 1-2 секунд для камерної музики), рівномірний частотний відгук без виражених резонансів чи провалів, достатній об'єм (мінімум 200-300 м³ для камерних ансамблів) та контрольовані ранні відлуння [14].

У акустично якісних приміщеннях – концертних залах, церквах, спеціально спроектованих студіях – звукорежисер має більшу свободу вибору. Можна використовувати омнідирекційні мікрофони для захоплення природної реверберації, розташовувати мікрофони на значній відстані від інструментів (2-4 м) для включення простору в звучання, застосовувати техніки на кшталт Dessa Tree або Blumlein, що покладаються на високу якість акустичного середовища. Реверберація стає невід'ємною частиною музичного висловлювання, додаючи теплоти, об'ємності та емоційної глибини звучанню струнних [56].

А у приміщеннях, які мають акустичні проблеми – малих студіях з недостатньою обробкою, кімнатах з паралельними стінами, що створюють стоячі хвилі, або приміщеннях з надмірною реверберацією – стратегія кардинально змінюється. Необхідно використовувати спрямовані мікрофони (кардіоїдні, гіперкардіоїдні) для мінімізації захоплення небажаних відлунь, розташовувати мікрофони ближче до інструментів (30-60 см) для збільшення співвідношення прямого звуку до відбитого, використовувати акустичні екрани або поглинаючі панелі для контролю відлунь. «Сухий» звук, отриманий таким чином, може бути згодом оброблений штучною реверберацією в пост-продакшні, що дає більший контроль над кінцевим результатом [14].

Проміжний варіант – гібридний підхід, що поєднує близьке мікрофонування для захоплення деталей з віддаленими мікрофонами для простору. Основні мікрофони розташовуються відносно близько (60-100 см) з використанням кардіоїдної спрямованості для контролю кількості захопленої реверберації, а додаткові мікрофони простору на відстані 3-5 м дозволяють регулювати кількість акустики приміщення в міксі. Такий підхід забезпечує максимальну гнучкість: якщо природна акустика виявляється кращою, ніж очікувалося, можна збільшити рівень мікрофонів простору; якщо ж вона проблематична – покластися переважно на близькі мікрофони та штучну обробку[44].

Після вибору мікрофонів та визначення їх розташування, звукорежисер стикається з низкою технічних питань, що безпосередньо впливають на якість

запису. Правильна підготовка обладнання та увага до деталей на етапі запису можуть суттєво спростити подальшу роботу в пост-продакшні та забезпечити максимально високу якість кінцевого результату[1].

Налаштування рівнів запису є критично важливим для струнних інструментів через їхній широкий динамічний діапазон. Скрипка може звучати від ледве чутного піанісимо (близько 40-50 дБ SPL) до потужного форте (понад 90 дБ SPL), а в деяких сучасних композиціях динамічний діапазон може сягати 50-60 дБ. Звукорежисер повинен встановити рівень підсилення (gain) мікрофонного передпідсилювача таким чином, щоб навіть найгучніші моменти не призводили до клімпінгу (обрізання сигналу), залишаючи при цьому достатній запас (headroom), але щоб тихі пасажі не губилися в шумах[35].

У цифровому записі рекомендується орієнтуватися на піки в діапазоні -12 до -6 dBFS (decibels Full Scale) для найгучніших моментів, залишаючи запас у 6-12 дБ до максимального рівня 0 dBFS. Це забезпечує достатній headroom для несподіваних динамічних сплесків, які можуть виникнути під час виконання, особливо в сучасній музиці з експериментальними техніками. При цьому середній рівень (RMS) зазвичай знаходиться в районі -20 до -18 dBFS, що забезпечує хороше співвідношення сигнал/шум навіть для тихих пасажів[44]. Використання фільтрів високих частот (high-pass filter, HPF) є стандартною практикою при записі струнних інструментів для усунення низькочастотних шумів, які не є частиною музичного сигналу. Це можуть бути вібрації від систем вентиляції, гуркіт транспорту ззовні, шуми від руху виконавців, низькочастотні резонанси приміщення.

Типова частота зрізу HPF для скрипки становить 80-100 Гц (нижче основного тону відкритої струни G3 = 196 Гц), для альту – 60-80 Гц, для віолончелі – 40-60 Гц, для контрабаса – 30-40 Гц[12]. Важливо використовувати м'який нахил фільтра (12 дБ/октава або менше) замість різкого (24 дБ/октава або більше), щоб уникнути фазових спотворень у робочому частотному діапазоні інструмента.

Сучасні мікрофонні предпідсилювачі часто мають вбудовані НРФ з фіксованими або регульованими частотами зрізу. В ідеалі слід експериментувати з різними налаштуваннями фільтра під час саундчеку, прослуховуючи результат на якісних студійних моніторах або навушниках[44].

Моніторинг під час запису вимагає особливої уваги. Звукорежисер повинен використовувати високоякісні студійні монітори або навушники з лінійною частотною характеристикою для точної оцінки тембру, балансу та просторової картини. Рекомендується періодично перемикатися між моніторами та навушниками, оскільки вони надають різну інформацію: монітори краще передають просторові характеристики та взаємодію низьких частот з акустикою кімнати прослуховування, тоді як навушники виявляють тонкі деталі, артефакти та технічні проблеми, які можуть губитися на моніторах[20].

Також дуже корисно періодично перевіряти запис у монофонічному режимі для виявлення потенційних фазових проблем та оцінки того, як звучить мікс при згортанні до моно. Це особливо важливо для матеріалу, який може транслюватися по радіо або відтворюватися на пристроях з монофонічним виходом [43].

Організація робочого процесу має включати регулярні перевірки записаного матеріалу, створення резервних копій у реальному часі, ведення детальних нотаток про налаштування мікрофонів, використане обладнання та особливі моменти в виконанні. Професійні звукорежисери часто фотографують мікрофонні налаштування та створюють схеми розташування, що може бути корисним у майбутньому для відтворення успішної конфігурації або аналізу проблемних моментів.

2.2. Сучасні технології обробки звуку струнно-смичкових інструментів

Сучасні технології обробки звуку відкрили перед звукорежисерами безпрецедентні можливості для формування, покращення та творчого перетворення записаного матеріалу [11]. Якщо ще кілька десятиліть тому

арсенал звукорежисера обмежувався базовими аналоговими приладами – еквайзерами, компресорами, реверберацією – то сьогодні цифрові аудіоробочі станції (DAW) та програмні плагіни пропонують практично необмежений інструментарій для роботи зі звуком [9].

Проте для струнно-смичкових інструментів, з їхнім багатим обертоновим спектром, складною динамікою та тонкими тембральними нюансами, обробка звуку вимагає особливо делікатного підходу та глибокого розуміння як технічних можливостей, так і акустичних особливостей інструментів [1]. Головним принципом залишається збереження природності та автентичності звучання при одночасному досягненні технічної досконалості та художньої виразності запису [13].

Еквалізація (EQ – equalization) є одним із найважливіших та найчастіше використовуваних інструментів обробки звуку, що дозволяє звукорежисеру коригувати частотний баланс записаного матеріалу, усувати небажані резонанси, підкреслювати важливі тембральні характеристики або виправляти акустичні недоліки [33]. Для струнно-смичкових інструментів еквалізація має бути особливо обережною та обдуманною, оскільки їхнє звучання базується на складній взаємодії основного тону та серії гармонік, і навіть невеликі зміни в частотному балансі можуть радикально змінити тембр або створити неприродне звучання [11].

Розуміння частотного спектру струнних інструментів є необхідною передумовою для ефективної еквалізації. Скрипка охоплює діапазон приблизно від 196 Гц (струна G) до 3000 Гц і вище в обертонах, з особливо важливою областю 300-600 Гц, де зосереджена основна тембральна інформація – «тіло» звуку, та областю 2-4 кГц, де формуються яскравість та проникливість тону.

Альт звучить у нижчому діапазоні (від 131 Гц струни C), з особливо важливою областю 200-500 Гц для теплоти тону та 1,5-3 кГц для чіткості та присутності. Віолончель охоплює широкий діапазон від 65 Гц до кількох кілогерц, з критичною областю 80-200 Гц для басового резонансу корпусу, 250-600 Гц для основного тембру та 1-3 кГц для артикуляції смичка. Контрабас

простягається від найнижчих частот (близько 41 Гц для струни E1 або 33 Гц для розширення до C1) до кількох кілогерц в обертонах, з особливо важливою областю 40-100 Гц для фундаментального басового резонансу та 100-300 Гц для визначеності тону[17].

Параметричні еквайзери є найбільш гнучким та точним інструментом для роботи зі струнними інструментами[32]. На відміну від графічних еквайзерів з фіксованими частотними смугами або простих тембр-блоків з обмеженими можливостями, параметричні EQ дозволяють звукорежисеру точно налаштувати три ключові параметри для кожної смуги: центральну частоту (де відбувається посилення або зрізання), рівень підсилення/зрізання (gain, зазвичай в діапазоні від -12 до +12 дБ або більше) та Q-фактор (ширину смуги, яка визначає, як вузько або широко поширюється вплив еквалізації навколо центральної частоти)[12].

Для струнних інструментів рекомендується використовувати відносно широкий Q-фактор (низьке значення Q, приблизно 0,5-1,5) для загальних тембральних коригувань, що впливає на кілька гармонік одночасно та створює більш природне звучання[11]. Вузький Q-фактор (високе значення Q, 3-10 або більше) застосовується переважно для хірургічного усунення конкретних проблемних частот – наприклад, неприємного резонансу корпусу або вовчого тону, характерного для деяких віолончелей на частотах близько 200-250 Гц [17].

Типові застосування еквалізації для скрипки включають кілька стандартних підходів. Для додавання теплоти та повноти тону часто застосовується помірне підсилення (2-4 дБ) в області 300-500 Гц з Q близько 1,0, що робить звучання більш об'ємним та насиченим без створення гулкості[49]. Для збільшення яскравості та присутності може використовуватися підсилення в області 2-4 кГц (2-3 дБ, Q 1,5-2,0), що робить інструмент більш виразним у міксі, особливо корисно для сольних партій.

Для додавання «повітря» та блиску застосовується м'яке підсилення високих частот вище 8-10 кГц за допомогою shelving EQ (1-3 дБ), що підкреслює найвищі обертони та створює відчуття простору навколо інструменту[32].

Водночас часто буває необхідно зрізати певні проблемні частоти. Зрізання надлишкових низьких частот за допомогою high-pass фільтра на 80-120 Гц (нахил 12-18 дБ/октава) очищує звук від гулу та дозволяє інструменту краще інтегруватися в мікс, не конфліктуючи з басовими інструментами. Якщо звучання надто яскраве або різке, може застосовуватися помірне зрізання (2-4 дБ) в області 3-5 кГц з широким Q. Якщо присутній неприємний носовий або порожнистий призвук, може знадобитися вузьке зрізання (3-6 дБ) в області 800-1200 Гц після ретельного аналізу спектрограми для визначення точної частоти резонансу[38].

Еквалізація альта має свої особливості через його нижчий строй та характерний «матовий» тембр. Типові підходи включають підсилення в області 200-400 Гц (2-3 дБ, широкий Q) для підкреслення характерної теплоти та глибини альта, яка є його визначальною тембральною рисою[60]. Для покращення чіткості та артикуляції часто потрібно помірне підсилення в області 1,5-2,5 кГц (2-4 дБ), що робить альт більш розбірливим в ансамблі, не позбавляючи його природної м'якості. Альт іноді може звучати дещо «гулко» в нижній середній області через розмір корпусу, тому може знадобитися обережне зрізання в області 300-500 Гц (1-3 дБ) якщо звучання здається заповзливим або невиразним[17].

Еквалізація віолончелі вимагає особливої уваги до балансу між багатим низькочастотним резонансом та чіткістю артикуляції. Область 80-150 Гц містить фундаментальний басовий резонанс корпусу – помірне підсилення тут (2-4 дБ, Q близько 1,0) додає глибини та потужності, але надмірне підсилення може створити гулкість та конфлікт з контрабасом або басовою секцією[27]. Область 250-500 Гц є критичною для основного тембру віолончелі – це її «голос», і корекція тут має бути дуже делікатною. Для покращення чіткості смичка та артикуляції часто потрібне підсилення в області 1-2,5 кГц (2-3 дБ), що особливо важливо для швидких пасажів або коли віолончель виконує мелодичну лінію[49]. Віолончель іноді страждає від так званого «вовчого тону» – неприємного резонансу на певних нотах, зазвичай навколо 200-250 Гц, викликаного

взаємодією між резонансними частотами корпусу та частотою грудної струни. Цей резонанс може бути частково приборканий вузьким зрізанням (3-5 дБ, Q 5-8) на точній частоті проблемної ноти, хоча краще, якщо проблема вирішена на рівні інструмента спеціальними сурдинами[14].

Еквалізація контрабаса є особливо делікатним завданням через його роль басового фундаменту в більшості ансамблів та унікальні акустичні характеристики. Суббасова область 40-80 Гц містить фундаментальні частоти найнижчих нот – підсилення тут (2-4 дБ, широкий Q) додає потужності та глибини, але вимагає хорошого контролю низьких частот у системі відтворення та обережності, щоб не створити гуркіт або дисбаланс у міксі[35]. Область 100-200 Гц визначає «визначеність» басових ліній – тут знаходяться основні тони більшості нот контрабаса, і правильний баланс у цій області критичний для того, щоб кожна нота була чітко розбірливою[40]. Для покращення атаки смичка (*arco*) або чіткості щипка (*pizzicato*) часто потрібне підсилення в області 800 Гц – 2 кГц (2-4 дБ), що робить басові лінії більш артикульованими та виразними, особливо важливо в джазових або сучасних контекстах. Надлишок низької середньої області (200-400 Гц) може створити «бубнячий» або нечіткий звук, тому іноді потрібне обережне зрізання тут (1-3 дБ, широкий Q)[11].

Динамічна еквалізація (*dynamic EQ*) є відносно новою технологією, що поєднує можливості еквалізації та компресії, дозволяючи застосовувати еквалізацію лише коли певна частотна область перевищує заданий поріг[37]. Це надзвичайно корисно для струнних інструментів: наприклад, можна налаштувати *dynamic EQ* на автоматичне зрізання різкості в області 3-4 кГц лише під час найгучніших форте-пасажів, коли високочастотні гармоніки можуть стати надмірно яскравими, залишаючи цю область недоторканою під час тихіших пасажів, де яскравість бажана для збереження деталізації.

Лінійно-фазові еквалайзери представляють альтернативу стандартним мінімально-фазовим EQ, усуваючи фазові зсуви, що виникають при еквалізації. Це може бути корисним при роботі зі стереопарами струнних інструментів або при багатомікрофонних налаштуваннях, де фазові співвідношення є

критичними[27]. Однак лінійно-фазова обробка вносить передзвучність (pre-ringing) – артефакт, коли обробка впливає на сигнал ще до моменту його виникнення, що може бути проблематичним для інструментів з різкими транзієнтами, як *pizzicato*. Тому вибір між мінімально-фазовим та лінійно-фазовим EQ залежить від конкретної ситуації та має базуватися на уважному прослуховуванні результату[33].

Спектральний аналіз є невід'ємною частиною сучасної роботи з еквалізацією. Програми як *iZotope RX*, *FabFilter Pro-Q3* або *Voxengo SPAN* надають детальну візуалізацію частотного спектру в реальному часі, дозволяючи звукорежисеру точно ідентифікувати проблемні частоти, резонанси або провали в тембрі[32]. Однак важливо пам'ятати, що остаточне рішення має базуватися на слуховому сприйнятті, а не лише на візуальній інформації – те, що виглядає «неправильним» на спектрограмі, може звучати цілком природно та музично.

Динамічна обробка включає широкий спектр технологій, що дозволяють контролювати та формувати динамічний діапазон записаного матеріалу – тобто співвідношення між найтихішими та найгучнішими моментами [40]. Для струнно-смічкових інструментів, які природно мають дуже широкий динамічний діапазон (від ледь чутного *піанісімо* до потужного *форте*), динамічна обробка може бути як надзвичайно корисною для досягнення технічної досконалості запису, так і потенційно шкідливою, якщо застосовується занадто агресивно, позбавляючи виконання природної динамічної виразності [43].

Компресія є найпоширенішим типом динамічної обробки, що автоматично зменшує гучність сигналу, коли він перевищує заданий поріг (*threshold*)[40]. Основні параметри компресора включають: *threshold* (поріг, вище якого починається компресія), *ratio* (співвідношення компресії – наприклад, 4:1 означає, що коли сигнал перевищує поріг на 4 дБ, він буде зменшений до 1 дБ вище порогу), *attack* (час атаки – як швидко компресор реагує після перевищення порогу), *release* (час відновлення – як швидко компресор припиняє дію після того, як сигнал опускається нижче порогу), *knee* (характер переходу – різкий або

плавний перехід до компресії) та *makeup gain* (компенсаційне підсилення для відновлення загального рівня після зменшення гучності піків)[43].

Для струнних інструментів компресія має застосовуватися з великою обережністю. Легка компресія з *ratio* 2:1 – 3:1, повільним *attack* (20-50 мс для збереження транз'єнтів атаки смичка) та середнім *release* (100-300 мс для природного звучання) може допомогти «склеїти» виконання, зробивши його більш цілісним та зменшивши різкі динамічні стрибки, які можуть відволікати слухача. *Threshold* встановлюється таким чином, щоб компресія спрацьовувала лише на найгучніших моментах, зменшуючи їх на 3-6 дБ максимум, що зазвичай непомітно для слухача, але технічно покращує запис [43].

Надмірна компресія – одна з найпоширеніших помилок при обробці струнних інструментів. Агресивні налаштування (*ratio* 6:1 або вище, низький *threshold*, швидкі *attack* та *release*) можуть створити численні проблеми: втрату природної динаміки та виразності виконання – музика звучить «плоско» та нецікаво; посилення шумів дихання, руху виконавця або акустичних недоліків приміщення через *makeup gain*; створення ефекту «пампінгу» або «дихання», коли рівень фонового шуму помітно змінюється разом з компресією музичного сигналу; спотворення природної атаки смичка, що є критично важливою для артикуляції та виразності струнних інструментів[40].

Паралельна компресія (*parallel compression* або *New York compression*) є технікою, де сильно компресований сигнал змішується з оригінальним некомпресованим сигналом, дозволяючи зберегти природну динаміку та транз'єнти оригіналу при одночасному додаванні щільності та «тіла» від компресованої версії [43]. Для струнних інструментів це може бути ідеальним компромісом: на окремому треку створюється копія оригінального сигналу, до якої застосовується досить агресивна компресія (*ratio* 6:1-10:1), а потім цей компресований сигнал підмішується до оригіналу на низькому рівні (зазвичай 10-30% у міксі)[49]. Результат – інструмент звучить більш щільно та присутньо, але зберігає природну динамічну виразність.

Мультисмугова компресія (multiband compression) розділяє сигнал на кілька частотних смуг (зазвичай 3-4) та застосовує окрему компресію до кожної смуги незалежно. Це дозволяє дуже точно контролювати динаміку в різних частотних областях[37] Для струнних інструментів мультисмугова компресія може бути корисною в специфічних ситуаціях: наприклад, контроль надмірного басового резонансу віолончелі в області 80-200 Гц без впливу на середні та високі частоти, де знаходиться основна тембральна інформація та артикуляція; приборкання непередбачуваних піків в області 2-4 кГц, які можуть виникати при агресивних прийомах гри, зберігаючи при цьому природну динаміку в інших областях [40]. Однак мультисмугова компресія є складним інструментом, що може легко створити неприродне звучання якщо налаштована неправильно, тому її застосування вимагає значного досвіду та обережності.

Лімітування (limiting) є екстремальною формою компресії з дуже високим ratio (зазвичай 10:1 або вище, часто до ∞ :1, що називається «brick wall» limiting), що фактично запобігає перевищенню сигналом заданого порогу. Лімітери використовуються переважно на фінальній стадії мастерингу для запобігання клімпінгу (цифрового спотворення через перевищення максимального рівня 0 dBFS) та для максимізації загальної гучності запису[43]. Для струнних інструментів лімітування на етапі індивідуальних треків зазвичай не рекомендується, оскільки може серйозно пошкодити транзєнти та природну динаміку. Виняток – дуже обережне використання для захисту від випадкових надмірних піків, викликаних технічними проблемами, а не музичним виконанням [11].

Експандери та гейти (expanders and gates) працюють протилежно до компресорів: замість зменшення гучності сигналу вище порогу, вони зменшують гучність сигналу нижче порогу[40]. Гейт різко обрізає сигнал нижче порогу (фактично вимикаючи його), тоді як експандер плавно зменшує рівень. Ці інструменти можуть бути корисними для зменшення шумів між фразами або для очищення багатомікрофонних записів від просочування (leakage) інших інструментів. Однак для струнних інструментів їх використання вимагає

величезної обережності: надто агресивний гейт може обрізати природне загасання тонів, особливо довгих нот або резонансів відкритих струн, створюючи неприродне та механічне звучання [1].

De-esser є спеціалізованим типом компресора, призначеним для зменшення надмірних сибілянтів (свистячих звуків) у вокалі, але він також може знайти застосування для струнних інструментів[37]. Іноді при близькому мікрофонуванні або певних прийомах гри (особливо *sul ponticello*) можуть виникати різкі, «металеві» високочастотні піки в області 5-8 кГц, які можуть бути неприємними для слуху[16]. Обережне застосування de-esser, налаштованого на цю частотну область, може допомогти приборкати ці піки, зберігаючи при цьому загальну яскравість та детальність звучання.

Просторова обробка включає технології, що дозволяють створити або змінити відчуття акустичного простору навколо інструмента – від інтимної близькості до величезного концертного залу [56]. Для струнних інструментів просторова обробка є критично важливою, оскільки вони традиційно виконуються в акустичних приміщеннях, і реверберація є невід'ємною частиною їхнього природного звучання. Водночас надмірна або неправильно підібрана реверберація може зробити звучання розмитим, нечітким або штучним[57].

Реверберація (reverb) імітує відлуння звуку в приміщенні, що виникає внаслідок відбиття звукових хвиль від стін, стелі, підлоги та інших поверхонь[58]. Природна реверберація складається з трьох основних компонентів: прямий звук (direct sound) – звук, що досягає слухача безпосередньо від джерела без відбиття; ранні відлуння (early reflections) – перші відбиття від найближчих поверхонь, що досягають слухача протягом перших 50-100 мілісекунд після прямого звуку; пізня реверберація (late reverb або diffuse field) – густе хмароподібне відлуння, що виникає внаслідок численних відбиттів від усіх поверхонь у приміщенні [14].

Параметри реверберації, які звукорежисер може контролювати в сучасних цифрових ревербераторах, включають: pre-delay (час затримки між прямим звуком та початком реверберації, що визначає відчуття розміру

приміщення – більший pre-delay створює відчуття більшого простору); decay time або RT60 (час, необхідний для зменшення реверберації на 60 дБ – основний параметр, що визначає «довжину» реверберації та відчуття розміру приміщення); size (розмір імітованого приміщення); diffusion (ступінь розсіювання відлунь – вища дифузія створює більш густу, гладку реверберацію); damping (поглинання високих та низьких частот, імітуючи характеристики різних матеріалів поверхонь); early reflections pattern (патерн ранніх відлунь, що визначає форму та характер приміщення); wet/dry mix (співвідношення між обробленим та необробленим сигналом)[58].

Вибір типу реверберації для струнних інструментів залежить від музичного контексту та бажаного естетичного ефекту[56]. Chamber reverb (камерна реверберація) з коротким часом загасання (0,5-1,5 с) та яскравими ранніми відлуннями ідеально підходить для камерної музики – струнних квартетів, тріо, сольних творів з фортепіано[14]. Вона додає інтимності та теплоти, створюючи відчуття невеликого концертного залу або студії без зайвої просторовості, що могла б розмити деталі гри.

Hall reverb (зальна реверберація) з довшим часом загасання (1,5-3 с) та більш рівномірною дифузією підходить для більших ансамблів та оркестрових творів. Вона створює відчуття великого концертного залу з багатою, обволікаючою акустикою, що є природним середовищем для симфонічної музики. Для струнних секцій оркестру hall reverb додає глибини, об'ємності та благородства звучанню, об'єднуючи окремі інструменти в єдине ціле[58].

Plate reverb (пластинчата реверберація) – класичний тип штучної реверберації, що базується на вібрації великої металевої пластини [57]. Plate reverb має характерний яскравий, дещо металевий звук з густою дифузією та підкресленими високими частотами[18]. Хоча вона не є акустично реалістичною імітацією реального приміщення, plate reverb може додати струнним інструментам винтажного, «класичного» характеру, що асоціюється зі записами 1960-1970-х років[4]. Особливо добре вона працює зі скрипкою та віолончеллю в поп-музиці або кінематографічних аранжуваннях[56].

Spring reverb (пружинна реверберація), історично використовувана в гітарних підсилювачах, має специфічний «дзвінкий» характер і рідко застосовується для класичних струнних інструментів, але може знайти творче застосування в експериментальній або сучасній музиці для створення незвичних текстур[57].

Convolution reverb (конволюційна або імпульсна реверберація) є найбільш реалістичним типом штучної реверберації[23]. Вона використовує реальні записи імпульсної характеристики (IR – impulse response) конкретних приміщень – від легендарних концертних залів як Carnegie Hall або Musikverein до унікальних просторів як готичні собори чи природні печери. Конволюційна реверберація точно відтворює акустику цих просторів, включаючи їхні унікальні ранні відлуння, частотну характеристику та часові параметри[23]. Для струнних інструментів convolution reverb є часто найкращим вибором, оскільки вона забезпечує максимально природне та реалістичне звучання, особливо коли використовуються імпульсні характеристики відомих концертних залів[56].

Існують бібліотеки IR для класичної музики, які часто містять кілька варіантів позиціонування мікрофонів у залі: ближні (close), середні (mid) і віддалені (far)[23]. Ближні позиції дають більше прямого звуку і менше реверберації, що ідеально підходить для сольних струнних інструментів, де важлива чіткість і деталізація. Віддалені позиції, навпаки, створюють відчуття глибини залу, що краще працює для великих ансамблів чи оркестрових секцій[27]. Для оптимального використання convolution reverb для струнних інструментів слід враховувати кілька практичних рекомендацій:

- *Pre-delay*. Для сольних інструментів значення pre-delay у межах 10-30 мс допомагає відокремити прямий звук від реверберації, зберігаючи чіткість артикуляції. Для ансамблів можна використовувати довший pre-delay (30-50 мс) для створення відчуття більшого простору.

- *Decay time*. Для камерної музики оптимальний час загасання становить 0,8-1,5 секунди, для оркестрових творів – 1,5-3 секунди, залежно від розміру імітованого залу.

- *Wet/dry mix*. Сольні інструменти зазвичай потребують 10-20% реверберації, тоді як для ансамблів цей показник може зростати до 20-40%, щоб підкреслити глибину та об'ємність звучання.

- *Еквалізація реверберації*. Застосування high-pass фільтра (200-400 Гц) усуває надмірну гулкість у низьких частотах, а low-pass фільтр (8-12 кГц) робить реверберацію м'якшою і природнішою.

Недоліком convolution reverb є її відносно висока обчислювальна вимогливість, що може бути проблематичним для роботи на слабких комп'ютерах або у проєктах із великою кількістю треків[23]. Крім того, вона менш гнучка в налаштуваннях порівняно з алгоритмічними ревербераторами, де можна легко змінювати параметри, такі як розмір приміщення чи дифузія.

Алгоритмічна реверберація є альтернативою, яка генерує штучний простір на основі математичних моделей, а не реальних IR[57]. Вона дозволяє створювати реверберацію з нуля, що дає більше творчої свободи, але може звучати менш реалістично. Для струнних інструментів алгоритмічна реверберація часто використовується в сучасних або кінематографічних контекстах, де потрібен нестандартний просторовий ефект. Наприклад, плагіни, такі як Valhalla VintageVerb чи Lexicon PCM Reverb, дозволяють створювати реверберацію з унікальними характеристиками, які можуть додати драматичності або експериментального відтінку [58].

Ранні відлуння (early reflections) як окремий ефект є надзвичайно ефективними для струнних інструментів, особливо в камерних записах [27]. Вони дозволяють створити відчуття простору без довгого хвоста реверберації, що зберігає чіткість і артикуляцію. Наприклад, для струнного квартету можна використати плагін, який імітує лише ранні відбиття невеликої студії чи камерного залу, додаючи просторовості, але не розмиваючи швидкі пасажі чи складні поліфонічні текстури.

Delay (затримка), як зазначалося, рідко використовується для класичних струнних інструментів у традиційному контексті через його неприродний характер[35]. Проте в сучасній музиці короткі затримки (20-80 мс) можуть

створювати ефект подвоєння звуку (doubling), що додає щільності сольним інструментам. Наприклад, легка затримка на скрипці в поп-аранжуванні може зробити її звучання більш насиченим, імітуючи ефект кількох інструментів. Плагіни, такі як Soundtoys EchoBoy чи FabFilter Timeless, дозволяють точно налаштувати затримку, додаючи модуляцію для створення більш органічного звучання[52].

Модульовані затримки (chorus, flanger, phaser) використовуються з обережністю для струнних інструментів[43]. Chorus може додати легкої ширини та глибини, особливо в кінематографічних або поп-контекстах, але надмірне використання може зробити звук штучним. Наприклад, тонкий chorus-ефект на віолончелі в саундтреку може створити відчуття «епічного» звучання, але параметри (глибина, швидкість) мають бути мінімальними, щоб зберегти природність.

Панорамування струнних інструментів у міксі є ключовим для створення переконливого стереообразу, особливо в ансамблевому чи оркестровому контексті [33]. Класичне оркестрове розташування, описане раніше, є основою для панорамування струнних секцій:

- Перші скрипки: 30-60% ліворуч (L30-L60).
- Другі скрипки: 20-50% праворуч (R20-R50) або ближче до центру, якщо вони розташовані поруч із першими.
- Альти: 10-30% праворуч (R10-R30).
- Віолончелі: 20-50% праворуч (R20-R50).
- Контрабаси: крайній правий або розподілені вздовж задньої частини.

Для камерних ансамблів, таких як струнний квартет, панорамування зазвичай менш широке, щоб уникнути «дірки» в центрі стереообразу. Наприклад:

- Перша скрипка: L20-L40.
- Друга скрипка: R20-R40.
- Альт: R10-R30.
- Віолончель: R20-R40.

Сольні інструменти зазвичай розташовуються в центрі (pan 0) або з легким зміщенням ($\pm 10-15\%$), щоб зберегти фокус слухача[35]. Для створення ширини стереообразу без панорамування можна використовувати стереореверберацію або ранні відлуння, які панорамуються ширше за основний сигнал.

Техніки розширення стереобазис включують використання стереоенхансерів (наприклад, Waves S1 Stereo Imager чи iZotope Ozone Imager), які підсилюють різницю між лівим і правим каналами[59]. Однак для струнних інструментів це слід робити обережно, щоб уникнути фазових проблем або втрати монофонічної сумісності.

Haas ефект є ефективним для створення ширини без значних фазових артефактів. Наприклад, затримка копії сигналу на 10-25 мс із панорамуванням у протилежний бік від оригіналу створює відчуття просторовості. Проте при зведенні в моно необхідно перевіряти сумісність, щоб уникнути гребінчастої фільтрації.

Mid-Side обробка дозволяє окремо обробляти центральний (Mid) і бічний (Side) компоненти стереосигналу[43]. Для струнних це корисно для:

- Компресії Mid-компонента для контролю основного тону без впливу на просторовість.
- Еквалізації Side-компонента для підкреслення або зменшення ширини стереообразу.
- Додавання реверберації лише до Side-компонента, щоб зберегти чіткість прямого звуку.

Цифрова реставрація звуку є важливим етапом для роботи з архівними записами або записами, зробленими в складних умовах[38]. Для струнних інструментів це особливо актуально, оскільки вони часто записуються в акустично чутливих середовищах, де можуть виникати сторонні шуми.

Шумоподавлення (noise reduction) використовується для видалення фонових шумів, таких як гул вентиляції, шипіння апаратури чи дихання виконавця[37]. Плагіни, такі як iZotope RX чи Cedar Audio, дозволяють

створювати профіль шуму та вибірково видаляти його. Для струнних інструментів рекомендується помірно шумоподавлення (6-12 дБ), щоб уникнути втрати високих частот або створення артефактів. Наприклад, у тихих пасажах віолончелі шумоподавлення може застосовуватися лише до пауз, щоб зберегти природність звучання.

Деклікінг (declicking) усуває імпульсні шуми, такі як клацання чи тріск. Це особливо корисно для архівних записів на вінілі чи магнітній стрічці. Алгоритми деклікінгу (наприклад, у RX або SpectraLayers) виявляють аномалії та інтерполують їх, але важливо уникати впливу на легітимні транзйєнти, такі як pizzicato.

Декракл (decrackle) видаляє дрібні потріскування, характерні для старих записів[38]. Для струнних інструментів це може покращити слухабельність тихих пасажів, де тріски особливо помітні.

Де-хам та де-базз (dehum and debuzz) усувають електричний гул (50/60 Гц) та його гармоніки[37]. Для струнних це важливо, оскільки низькочастотні ноти (наприклад, G на скрипці – 196 Гц) можуть бути близькими до гармонік гулу, тому алгоритм має бути точним.

Спектральна репарація дозволяє візуально ідентифікувати та видаляти сторонні звуки на спектрограмі[38]. Наприклад, кашель у залі чи звук мобільного телефону можна «стерти», інтерполуючи сигнал. Це вимагає обережності, щоб не пошкодити гармонічну структуру тону.

Деесінг може бути корисним для усунення надмірних високочастотних піків (4-8 кГц), що виникають при агресивній грі чи близькому мікрофонуванні[43]. Наприклад, sul ponticello на скрипці може створювати «свистячі» звуки, які деесер м'яко приборкує.

2.2. Сучасні технології обробки звуку

Сучасний етап розвитку звукозапису характеризується стрімким впровадженням цифрових технологій обробки звуку, які кардинально змінили підходи до роботи зі струнно-смичковими інструментами[1]. Цифрова обробка

аудіо відкрила нові можливості для звукорежисерів, дозволяючи досягати високої якості звучання та реалізовувати творчі ідеї, які раніше були технічно недосяжними.

Перехід від аналогових до цифрових технологій не просто змінив інструментарій звукорежисера – він трансформував саму філософію роботи зі звуком, надавши небачену раніше гнучкість та точність у процесі запису, редагування та обробки музичного матеріалу[4]. Історично, обробка звуку була виключно аналоговим процесом, що вимагав дорогого апаратного обладнання та глибоких технічних знань. Кожна зміна в звуковому сигналі була незворотною, а будь-яка помилка могла коштувати багато часу і ресурсів. З появою цифрових технологій у 1980-х роках почалася революція в галузі звукозапису, яка продовжує розвиватися й донині [54].

Сучасні технології дозволяють не лише відтворювати класичні аналогові ефекти, але й створювати абсолютно нові звукові ландшафти, які були неможливі в епоху виключно апаратної обробки.

Основою сучасного звукозапису є цифрові аудіо робочі станції (Digital Audio Workstations, DAW) – програмні комплекси, що поєднують функції запису, редагування, обробки та зведення аудіоматеріалу [35]. Ці програми надають музикантам і звукорежисерам можливість записувати, редагувати та створювати треки з високим ступенем точності. DAW стали центральним інструментом в сучасному музичному виробництві, замінивши собою цілі студії аналогового обладнання та багатоканальні магнітофони.

Еволюція DAW почалася з простих програм для редагування аудіо та поступово переросла в складні багатофункціональні системи, здатні обробляти сотні аудіотреків одночасно, підтримувати тисячі плагінів та інтегруватися з апаратним обладнанням будь-якого рівня складності[9]. Сучасні DAW не просто замінюють аналогову студію – вони розширюють можливості звукорежисера далеко за межі того, що було технічно можливо в аналогову епоху.

Pro Tools від компанії Avid Technology залишається незаперечним галузевим стандартом у професійних студіях звукозапису, особливо для запису

та зведення класичної музики та акустичних інструментів [26]. Програма відрізняється виключними можливостями аудіоредагування, точною синхронізацією та стабільною роботою з великими проєктами, що робить її ідеальним вибором для запису симфонічних оркестрів та камерних ансамблів. Pro Tools підтримує високоякісне аналогово-цифрове перетворення через систему Avid HDX, яка забезпечує надзвичайно низьку латентність та кристально чисте звучання [26].

Система HDX використовує виділені DSP-процесори для обробки звуку, що дозволяє запускати велику кількість плагінів без навантаження на процесор комп'ютера. Це особливо важливо при роботі з багатоканальними записами струнних ансамблів, де кожен інструмент потребує індивідуальної обробки. Інтеграція з професійними контрольними поверхнями, такими як Avid S6 та Icon D-Command, надає тактильний контроль над міксом, що значно прискорює робочий процес та дозволяє звукорежисеру зосередитися на творчих аспектах роботи, а не на технічних деталях управління програмою. Ці контрольні поверхні відтворюють відчуття роботи з аналоговим мікшером, при цьому надаючи всі переваги цифрової обробки. Функціонал Pro Tools включає розширені інструменти для редагування темпу та тональності, що дозволяє коригувати навіть найменші нюанси виконання без помітної деградації якості звуку[9]

Технологія Elastic Audio дозволяє змінювати темп та висоту окремих нот у запису, що неоціненно при роботі з живими записами струнних інструментів. Функція Beat Detective автоматично виявляє та коригує ритмічні неточності, хоча при роботі з класичною музикою ця функція зазвичай використовується дуже обережно, щоб зберегти природну виразність виконання.

Система управління треками в Pro Tools дозволяє організовувати сотні аудіодоріжок за допомогою папок, кольорового кодування та гнучкої системи шин (busses)[26]. Це особливо важливо при роботі з записами великих оркестрів, де може бути до сотні окремих мікрофонів. Можливість створювати допоміжні треки (aux tracks) та VCA-фейдери дозволяє ефективно керувати складними міксами, групуючи інструменти за секціями оркестру.

Pro Tools також відомий своєю системою ADM (Audio Data Management), яка забезпечує безпечне зберігання та управління великими обсягами аудіоданих. Функція автоматичного резервного копіювання та система відстеження версій гарантують, що жодна важлива деталь запису не буде втрачена. Для студій, що працюють з високорозрядним аудіо (24-біт/192 кГц), це критично важлива функція[26].

Logic Pro від Apple є потужною платформою для композиції та MIDI-інтеграції, що особливо цінується користувачами macOS[22]. Програма пропонує розширену бібліотеку віртуальних інструментів та ефектів, інтуїтивний інтерфейс та гнучкі шаблони для різних жанрів. *Logic Pro* забезпечує високоякісний запис аудіо та може обробляти звук високої роздільної здатності до 32-біт/192 кГц, зберігаючи всі нюанси виконання струнно-смичкових інструментів. Унік

У *Logic Pro* є глибока інтеграція з екосистемою Apple, що забезпечує безперебійну роботу з іншими продуктами компанії, включаючи *GarageBand*, що дозволяє легко переносити проекти між програмами. Це робить *Logic Pro* ідеальним вибором для композиторів, які працюють у змішаному середовищі професійної студії та мобільного робочого простору.

Бібліотека звуків *Logic Pro* включає високоякісні семпли струнних інструментів, записані в професійних студіях з використанням кращих мікрофонів. *Alchemy Synth* та *Sampler* дозволяють створювати власні інструменти на базі записів реальних струнних, що відкриває нові можливості для експериментального звуку. Технологія *Flex Time* аналогічна до *Elastic Audio* в *Pro Tools*, але має власні алгоритми, які деякі звукорежисери вважають більш музичними для роботи з акустичними інструментами[22].

Smart Tempo – інноваційна функція *Logic Pro*, яка автоматично визначає темп записаних треків та синхронізує їх між собою. Це особливо корисно при роботі з живими записами, де темп може природно коливатися. Система автоматично аналізує транзйєнти та ритмічні патерни, створюючи темп-карту,

яка точно відображає динаміку виконання. Міксер в Logic Pro відрізняється гнучкістю та потужністю.

Підтримка до 1000 аудіотреків, 1000 інструментальних треків та 1000 допоміжних каналів робить його придатним для найбільших проєктів. Кожен канал має повний набір інструментів обробки, включаючи вбудовані еквалайзери, компресори та інші ефекти студійної якості[22]. Важливою особливістю Logic Pro є його набір інструментів для роботи з нотацією. Редактор Score дозволяє не лише створювати професійно виглядячі партитури, але й редагувати музику безпосередньо в нотному вигляді. Це робить програму особливо привабливою для композиторів класичної музики та аранжувальників, які працюють зі струнними інструментами[22].

Ableton Live: інноваційний підхід до музичного виробництва Ableton Live виділяється інноваційним підходом до музичного виробництва з унікальним Session View, що дозволяє швидко створювати та аранжувати петлі в реальному часі[19]. Хоча програма більше відома серед електронних музикантів, її потужні можливості обробки звуку, інтуїтивні аудіоефекти та функція Warp (для маніпуляцій темпом та висотою тону) роблять її придатною і для роботи зі струнними інструментами, особливо в сучасних експериментальних проєктах.

Session View – це революційний підхід до композиції, де музичні фрагменти організовані в клітинки, які можна запускати в будь-якій послідовності. Це дозволяє експериментувати з різними варіантами аранжування в реальному часі, що особливо цінно при створенні сучасної класичної музики або саундтреків. Можливість швидкого переключення між Session View та традиційним Arrangement View робить робочий процес надзвичайно гнучким. Функція Warp в Ableton Live вважається однією з найкращих в галузі для роботи з темпом та висотою звуку. Програма пропонує кілька алгоритмів варпінгу, оптимізованих для різних типів аудіоматеріалу[19].

Режим Complex Pro особливо добре підходить для полі фонічного матеріалу, такого як записи струнних ансамблів, оскільки він мінімізує артефакти при зміні темпу. Max for Live – це платформа для створення власних

інструментів та ефектів, вбудована в Ableton Live. Вона відкриває практично необмежені можливості для кастомізації та експериментів. Багато сучасних композиторів використовують Max for Live для створення унікальних інструментів обробки звуку струнних інструментів, що не мають аналогів в інших програмах[19].

Система автоматизації в Ableton Live відрізняється інтуїтивністю та візуальною чіткістю. Криві автоматизації можна малювати безпосередньо на треках, а функція Automation Envelope дозволяє створювати складні динамічні зміни параметрів. Це особливо корисно при роботі зі складними ефектами обробки, де потрібна точна синхронізація змін параметрів з музичним матеріалом. Інтеграція з апаратними контролерами, особливо з власною лінійкою Push, робить Ableton Live ідеальним інструментом для живих виступів [19].

Багато сучасних ансамблів струнних інструментів використовують Ableton Live для доповнення своїх виступів електронними елементами або для обробки звуку в реальному часі.

Сучасні DAW підтримують роботу з багатоканальним аудіо до формату Dolby Atmos 9.1.6, забезпечують надзвичайно низьку латентність під час запису та відтворення (до 2-3 мс), а також дозволяють використовувати практично необмежену кількість віртуальних інструментів та ефектів [35]. Вони надають повний контроль над кожним параметром звуку через автоматизацію, що особливо важливо при роботі з динамічними струнно-смичковими партіями. Усі провідні DAW підтримують стандарти AAF (Advanced Authoring Format) та OMF (Open Media Framework), що дозволяє легко обмінюватися проектами між різними програмами. Це особливо важливо для студій, які працюють з кількома DAW або співпрацюють з іншими студіями. Можливість експортувати та імпортувати проекти разом з усіма налаштуваннями, автоматизацією та ефектами значно спрощує робочий процес[9].

Підтримка високорозрядного аудіо стала стандартом для професійних DAW[35]. Більшість програм працюють з форматами до 32-біт/384 кГц, хоча

практично рідко використовуються частоти дискретизації вище 192 кГц. Внутрішня обробка часто виконується з ще вищою розрядністю (64-біт з плаваючою комою), що гарантує відсутність накопичення помилок округлення при багаторівневій обробці[35].

Віртуальні плагіни є програмними модулями, що інтегруються в DAW та розширюють можливості обробки звуку[35]. Найпоширенішими форматами плагінів є VST (Virtual Studio Technology), розроблений компанією Steinberg, AU (Audio Units) від Apple для macOS, та AAX (Avid Audio Extension) для Pro Tools. Ці технології використовують цифрову обробку сигналів (Digital Signal Processing, DSP) для симуляції традиційного студійного обладнання у програмному вигляді або створення абсолютно нових типів обробки звуку. Індустрія плагінів пережила вибухове зростання за останні два десятиліття. Від простих емуляцій аналогових приладів до складних алгоритмів на базі штучного інтелекту – сучасні плагіни охоплюють весь спектр можливостей обробки звуку[35].

Багато розробників використовують технології глибокого навчання для точного моделювання аналогового обладнання, що дозволяє відтворювати не лише частотну характеристику приладу, але й тонкі нелінійні спотворення, які надають звуку «теплоту» та «характер» [11].

Еквалайзери (EQ) дозволяють точно коригувати частотний баланс запису. При роботі зі струнними інструментами еквалізація допомагає підкреслити теплоту нижнього регістру (приблизно 80-200 Гц), додати чіткості середнім частотам (500-3000 Гц) або висвітлити верхній обертоновий ряд (5000-12000 Гц). Параметричні еквалайзери надають можливість працювати з конкретними частотними діапазонами, усуваючи резонанси або підсилюючи бажані характеристики звучання[1].

Сучасні плагіни-еквалайзери поділяються на кілька категорій. Аналітичні еквалайзери, такі як FabFilter Pro-Q 3, надають детальну візуалізацію частотного спектру та дозволяють з хірургічною точністю вирізати проблемні частоти[32]. Вони часто використовуються на етапі корекції запису, коли потрібно усунути

небажані резонанси або фонові шуми. Ці еквайзери мають надзвичайно крутий нахил фільтрів (до 96 дБ/октаву), що дозволяє впливати на дуже вузькі частотні діапазони без зачіпання сусідніх частот [32].

Емуляції класичних аналогових еквайзерів, такі як Pultec EQP-1A або Neve 1073, додають звуку характерне "аналогове" забарвлення навіть при нульових налаштуваннях. Це відбувається через моделювання насичення трансформаторів та ламп, що додає парним гармонікам та створює відчуття більшої повноти звуку [32]. При роботі зі струнними інструментами такі еквайзери часто використовуються для «м'якого» підйому високих частот (air band), що додає звуку легкості та відкритості.

Динамічні еквайзери, такі як iZotope Neutron або Sonible smart:EQ 3, поєднують функції еквалізації та компресії[37]. Вони реагують на рівень сигналу в певній частотній смузі, що дозволяє контролювати резонанси, які проявляються лише на певних рівнях гучності. Наприклад, при записі скрипки резонанс корпусу може проявлятися лише на forte, і динамічний еквайзер може автоматично його приглушувати без впливу на piano.

Лінійно-фазові еквайзери використовуються в ситуаціях, де критично важливо зберегти фазові співвідношення між різними частотними компонентами сигналу[32]. Це особливо важливо при обробці стереозаписів струнних ансамблів або при роботі з кількома мікрофонами, де фазові зміщення можуть призвести до небажаних гребінчастих фільтрів. Однак лінійно-фазові еквайзери вносять більшу латентність та можуть створювати пре- та пост-ринги, тому їх використання вимагає обережності.

Компресори виконують функцію вирівнювання динамічного діапазону, контролюючи різницю між найгучнішими та найтихішими фрагментами запису [1]. Для струнно-смічкових інструментів компресія допомагає зробити звучання більш зібраним та контрольованим, зберігаючи при цьому природну виразність виконання.

Сучасні плагіни-компресори часто емулюють класичні аналогові пристрої, відтворюючи їхні характерні тембральні якості. Принцип роботи

компресора полягає в автоматичному зменшенні гучності сигналу, коли він перевищує встановлений поріг (threshold). Співвідношення компресії (ratio) визначає, наскільки сильно буде зменшено рівень. Наприклад, співвідношення 4:1 означає, що якщо вхідний сигнал перевищує поріг на 4 дБ, вихідний сигнал буде лише на 1 дБ вище порогу. Час атаки (attack) визначає, як швидко компресор реагує на перевищення порогу, а час відновлення (release) – як швидко він повертається до нормального стану [43].

При роботі зі струнними інструментами найчастіше використовуються м'які налаштування компресії з повільною атакою (10-30 мс) та середнім часом відновлення (100-300 мс)[43]. Це дозволяє зберегти природну атаку смичка, яка є важливою частиною характеру звучання струнних. Швидка атака може зробити звук «плоским» та позбавленим динаміки, тоді як надто повільна атака може не встигати реагувати на піки гучності. Класичні емуляції компресорів мають свої характерні звукові підписи. LA-2A, оптичний компресор, відомий своєю м'якою, музичною компресією, що ідеально підходить для сольних струнних інструментів. 1176, FET-компресор, має швидку атаку та додає енергії та присутності, що робить його популярним для струнних у сучасних мікстурах[43].

SSL Bus Compressor, VCA-компресор, часто використовується на груповій шині струнних для створення більш цілісного звучання секції[43]. Multiband компресори дозволяють застосовувати різні налаштування компресії до різних частотних діапазонів. Це корисно при роботі з записами, де різні частотні області мають різну динаміку. Наприклад, можна стиснути лише низькі частоти віолончелі, якщо вони звучать надто нерівномірно, не зачіпаючи при цьому середні та високі частоти.

Parallel compression (ню-йоркська компресія) – техніка, де сильно стиснута копія сигналу змішується з оригінальним сигналом. Це дозволяє збільшити середню гучність та щільність звуку, зберігаючи при цьому природні піки та динаміку оригіналу[49]. Ця техніка часто використовується на груповій

шині струнних для додавання потужності без втрати музичності. Реверберація: створення простору

Реверберація (Reverb) створює простір та глибину у звучанні, імітуючи акустичні характеристики різних приміщень – від невеликих студій до концертних залів та катедральних просторів[57]. Для струнних інструментів правильно підібрана реверберація здатна значно посилити емоційний вплив виконання, створюючи відчуття присутності у певному акустичному середовищі. Сучасні плагіни реверберації використовують різні алгоритми для створення відчуття простору[58].

Алгоритмічні ревербератори, такі як Valhalla Room або Lexicon PCM, генерують реверберацію математично, створюючи щільну мережу відображень звуку. Ці плагіни надають широкі можливості для налаштування параметрів, таких як час реверберації, рання затримка (pre-delay), щільність відображень та частотна характеристика. Конволюційні ревербератори, такі як Altiverb або Waves IR1, використовують імпульсні відгуки (impulse responses) реальних приміщень [23]. Ці відгуки записуються шляхом відтворення спеціального тестового сигналу в приміщенні та запису того, як приміщення на нього реагує. Результат – надзвичайно реалістичне відтворення акустики конкретного простору.

Багато бібліотек імпульсних відгуків включають записи знаменитих концертних залів, таких як Musikverein у Відні або Royal Albert Hall у Лондоні [23]. При роботі зі струнними інструментами реверберація вимагає особливої уваги. Занадто багато реверберації може зробити звук розмитим та позбавленим чіткості, особливо в низьких частотах. Тому стандартною практикою є застосування високочастотного фільтра (high-pass filter) до реверберації приблизно на 200-400 Гц для струнних інструментів[57]. Це зберігає чіткість основного тону інструменту, дозволяючи реверберації додавати простір переважно в середніх та високих частотах.

Early reflections (ранні відображення) – це перші відображення звуку від стін, стелі та підлоги, які досягають слухача раніше, ніж дифузна реверберація[

27]. Вони надзвичайно важливі для створення відчуття розміру приміщення та відстані до джерела звуку. Багато звукорежисерів використовують окремий плагін для ранніх відображень і окремий для дифузної реверберації, що дозволяє більш точно контролювати характер простору.

Плагіни затримки (Delay) додають простору та можуть використовуватися для створення ефекту луни або ритмічних повторень[52]. При роботі зі струнними інструментами затримка може бути використана як для тонкого розширення стереобазис (slapback delay з часом 20-40 мс), так і для створення драматичних ефектів (довгі затримки з часом понад 500 мс). Сучасні плагіни затримки набагато складніші, ніж прості повторення сигналу. Вони часто включають модуляцію, фільтри, сатурацію та інші ефекти, що дозволяє створювати складні текстури. Наприклад, Soundtoys EchoBoy емулює понад 30 різних типів апаратних затримок, від винтажних лентових ехо до сучасних цифрових затримок[52].

Ping-pong delay – ефект, де повторення сигналу чергуються між лівим та правим каналами, створюючи відчуття руху в стереополі[35]. Це може бути особливо ефектним при роботі з сольними струнними інструментами в сучасних жанрах музики. Однак при роботі з класичною музикою такі ефекти використовуються рідко, оскільки вони можуть відволікати увагу від музичного матеріалу.

Tape delay ефекти емулюють класичні лентові затримки, такі як Roland Space Echo або Echoplex[52]. Ці затримки додають характерне тепле забарвлення та органічну модуляцію, що виникає через нестабільність швидкості лентопротяжного механізму. При роботі зі струнними інструментами такі затримки можуть додати винтажного характеру звучанню, особливо в контексті записів, що стилізовані під певну епоху.

Noise Gate – це плагін, що автоматично приглушує сигнал, коли він падає нижче встановленого порогу[43]. Це корисно для видалення фонового шуму в паузах між музичними фразами. При роботі зі струнними інструментами noise gate має бути налаштований дуже обережно, щоб не обрізати природне затухання

нот. Параметри attack та release повинні бути встановлені так, щоб гейт не обрізав природний спад і резонанси інструменту. Сучасні плагіни noise gate часто включають функцію look-ahead, яка дозволяє гейту "передбачати" наближення звуку та відкриватися достатньо швидко, щоб не обрізати початок атаки.

De-esser – спеціалізований тип компресора, призначений для зменшення сибілянтів (свистячих звуків) у вокалі та деяких духових інструментах. При роботі зі струнними інструментами де-есер рідко потрібен, але може бути корисним для зменшення надмірної яскравості в діапазоні 6-10 кГц, яка іноді виникає при дуже близькому мікрофонуванні[43].

Exciter та Enhancer – плагіни, що додають гармонійні обертони до сигналу, роблячи звучання більш яскравим та присутнім[35]. Вони працюють шляхом генерації додаткових гармонік або підсилення існуючих обертонів. При роботі зі струнними інструментами ексайтери можуть додати "повітря" та відкритості звучанню, особливо в записах, зроблених у студіях з недостатньо яскравою акустикою.

Saturation та Tape Emulation – плагіни, що емулюють гармонійне насичення аналогового обладнання, такого як лампові підсилювачі, трансформатори або магнітна стрічка[11]. Вони додають тонкі гармонійні спотворення, які сприймаються як "теплота" та "аналоговий характер". Багато звукорежисерів використовують легку сатурацію на струнних інструментах, щоб компенсувати «холодність» цифрового запису.

Studio One Pro 7 від компанії PreSonus, представлений у жовтні 2024 року, є однією з найбільш інноваційних цифрових аудіо робочих станцій сучасності, що пропонує понад 30 нових функцій та інструментів [34]. ProSoundWebPR Newswire. Програма об'єднує традиційний запис, петльове виробництво музики, зведення, мастеринг та навіть живі виступи в єдиній платформі, що робить її універсальним інструментом для сучасних музикантів та звукорежисерів.

Революційною особливістю *Studio One 7* є інтеграція зі штучним інтелектом через функцію AI-powered Stem Separation, яка дозволяє розділяти аудіозаписи на окремі доріжки – вокал, ударні, бас та інші інструменти[45]. Це

відкриває нові можливості для реміксування, семплування та творчої роботи зі звуком, особливо корисні при роботі з архівними записами струнних інструментів або створенні сучасних аранжувань класичних творів.

Унікальною перевагою Studio One 7 є першість у інтеграції з платформою Splice безпосередньо в інтерфейс DAW[39]. Функція «Search with Sound» дозволяє користувачам знаходити сумісні семпли, які автоматично синхронізуються з темпом та тональністю проєкту [39]. Для користувачів, які не мають підписки Splice, Studio One 7 надає доступ до понад 2500 безкоштовних професійних семплів.

Integrated Launcher – динамічна сітка для аудіо та MIDI петель і патернів, що дозволяє швидко створювати аранжування в реальному часі[45]. Ця функція особливо цінна для композиторів сучасної музики та звукорежисерів, які працюють з живими виступами струнних ансамблів, доповнюючи їх електронними елементами. Можливість запускати та редагувати петлі безпосередньо поруч з таймлайном без відкриття додаткових вікон значно прискорює робочий процес.

Віртуальний інструмент Deep Flight One, який раніше був доступний як бібліотека для Presence XT, тепер став самостійним синтезатором з трьома шарами, інтегрованими ефектами та новими пресетами [45]. Цей інструмент пропонує еволюціонуючі звукові ландшафти, атмосферні текстури та пресети, ідеальні для амбієнтних експериментів та сучасної класичної музики. Його можливості особливо цінні для композиторів, які працюють з електроакустичними композиціями та саундтреками.

Покращений редактор Impact дозволяє створювати патерни, налаштовувати параметри та редагувати семпли ударних безпосередньо в інтерфейсі без відкриття нових вікон [34]. Інтерактивні інструменти для роботи зі шкалами та петлями тепер зібрані в одному місці, що спрощує редагування музики в заданих тональностях. Функція Global Transpose дозволяє одним кліком змінити тональність всього проєкту в реальному часі, що неоціненно при роботі з аранжуваннями для струнних ансамблів різних складів[34].

Розширене визначення темпу (Advanced Tempo Detection) дає можливість автоматично витягувати оригінальний темп запису одним кліком [34]. Це особливо корисно при роботі з живими записами струнних ансамблів, де природні коливання темпу є частиною виразного виконання. Інструмент CV Instrument дозволяє користувачам з винтажними або сучасними аналоговими синтезаторами керувати інструментами безпосередньо з DAW[34].

Studio One підтримує найвищу роздільну здатність аудіопродукції та мастерингу завдяки підтримці 64-бітного формату WAV з плаваючою комою, максимальна точність запису та обробки досягає 64-біт/786 кГц[46]. Унікальна система Audio Dropout Protection та просунута система Native Low-Latency Monitoring максимізують потужність комп'ютера, обробляючи відтворення аудіо та моніторинг як окремі процеси. Це дозволяє використовувати великий буфер обробки для складних завдань, зберігаючи при цьому низьку латентність для моніторингу.

Studio One 7 також підтримує формат плагінів CLAP (CLever Audio Plugin), що забезпечує покращену продуктивність та гнучкість роботи з плагінами[36]. Відокремлюваний браузер дозволяє використовувати його на другому моніторі, що особливо зручно для професійних студій з багатоекранними налаштуваннями. Естетичні покращення, такі як закруглені кути подій та настроювані колірні схеми, створюють більш сучасний та візуально приємний інтерфейс.

Важливою зміною в підході PreSonus є перехід до прискореного циклу оновлень – компанія планує випускати нові функції та покращення кілька разів на рік, а не накопичувати їх для великих версійних релізів[45]. Це означає, що користувачі Studio One 7 отримуватимуть постійний потік нових можливостей, не чекаючи кілька років до наступної мажорної версії.

Studio One 7 є особливо привабливим вибором для композиторів та звукорежисерів, які працюють у змішаному середовищі акустичних та електронних інструментів, а також для тих, хто шукає інтуїтивну альтернативу більш традиційним DAW[34]. Інтеграція AI-технологій та інноваційних

інструментів робочого процесу робить цю платформу однією з найперспективніших у галузі звукозапису.

Висновки до Розділу 2

Вибір технічного обладнання для звукозапису струнно-смичкових інструментів є багатограним процесом, що вимагає глибокого розуміння акустичних особливостей інструментів, їхнього звуковипромінювання та взаємодії з акустичним середовищем. Конденсаторні мікрофони, завдяки своїй високій чутливості та широкому частотному діапазону, залишаються стандартом для класичного запису, забезпечуючи точну передачу тембральних нюансів і динамічної виразності. Динамічні та стрічкові мікрофони знаходять застосування в специфічних жанрах і контекстах, додаючи унікальні тембральні відтінки або забезпечуючи стійкість до високого звукового тиску. Вибір характеристики спрямованості – омнідирекційної, кардіоїдної, гіперкардіоїдної чи вісімкоподібної – визначає баланс між прямим звуком інструмента та акустикою приміщення, що є критично важливим для створення природного та виразного звучання.

Стереофонічні техніки, такі як XY, ORTF, Blumlein, AB, Decca Tree та MS, надають звукорежисеру широкий спектр інструментів для формування стереообразу, що відповідає художнім і технічним вимогам конкретного запису. Кожна техніка має свої переваги та обмеження, які необхідно враховувати залежно від розміру ансамблю, акустики приміщення та вимог до монофонічної сумісності. Багатомікрофонні налаштування, що поєднують основні стереопари, акцентні мікрофони та мікрофони простору, забезпечують максимальну гнучкість у пост-продакшні, але вимагають ретельного контролю фазових співвідношень для уникнення артефактів. Позиціонування мікрофонів, яке враховує особливості звуковипромінювання кожного інструмента, відіграє вирішальну роль у досягненні оптимального балансу між деталізацією, природністю та просторовістю звучання.

Сучасні технології обробки звуку, реалізовані через цифрові аудіоробочі станції (DAW) і програмні плагіни, значно розширюють можливості

звукорежисера в удосконаленні та творчому перетворенні записаного матеріалу. Еквалізація дозволяє точно коригувати частотний баланс, підкреслюючи характерні тембральні особливості інструментів і усуваючи акустичні недоліки, такі як резонанси чи надмірна яскравість. Динамічна обробка, включаючи компресію, лімітування, експандери та гейти, забезпечує контроль над динамічним діапазоном, що є особливо важливим для струнних інструментів із їхньою широкою динамічною амплітудою. Просторова обробка, зокрема конволюційна та алгоритмічна реверберація, дозволяє створювати природний акустичний простір, що відповідає жанру та естетичним цілям запису. Цифрова реставрація звуку, яка включає шумоподавлення, деклікінг, декракл і спектральну репарацію, відіграє ключову роль у підвищенні якості архівних записів і записів, виконаних у складних акустичних умовах.

Проведений аналіз демонструє, що успішний звукозапис струнно-смичкових інструментів базується на гармонійному поєднанні технічних знань, практичного досвіду та художньої інтуїції. Ключовим принципом є делікатність обробки, спрямована на збереження природної виразності, тембрального багатства та динамічної глибини інструментів. Надмірна або некоректна обробка може призвести до втрати автентичності звучання, що особливо критично для класичної музики, де емоційна сила та виконавська майстерність є основою художнього висловлювання.

Результати дослідження підкреслюють важливість індивідуального підходу до кожного інструмента струнно-смичкової групи. Скрипка потребує акценту на високих обертонах і чіткості артикуляції, альт – на теплоті й м'якості тембру, віолончель – на балансі між басовим резонансом і виразністю середніх частот, а контрабас – на потужності низьких частот і визначеності тону. Акустика приміщення, вибір обладнання, техніки мікрофонування та стратегії обробки мають бути адаптовані до цих особливостей, а також до музичного контексту – від сольних виступів до великих оркестрових складів.

Таким чином, сучасні техніки та технології звукозапису й обробки звуку струнно-смичкових інструментів відкривають широкі можливості для створення

високоякісних аудіозаписів, які відповідають як технічним стандартам, так і художнім вимогам. Успіх залежить від глибокого розуміння акустичних принципів, технічних можливостей обладнання та програмного забезпечення, а також від творчого підходу, що дозволяє розкрити унікальну красу й емоційну силу музики струнно-смічкових інструментів. Отримані знання та практичні рекомендації можуть бути використані звукорежисерами для вдосконалення професійної практики, а також як основа для подальших досліджень у сфері звукорежисури та акустики.

РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЗВУКОЗАПИСУ СТРУННО-СМИЧКОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ

3.1. Методи звукозапису аудіопроектів

Звукозапис струнно-смичкових інструментів становить одне з найскладніших та водночас найцікавіших завдань сучасної звукорежисури. Ця складність зумовлена не лише багатством тембрального спектру та широким динамічним діапазоном струнних інструментів, але й різноманітністю виконавських прийомів, акустичних умов запису та художніх завдань, які ставить перед звукорежисером кожен конкретний проєкт [1]. Струнно-смичкові інструменти – скрипка, альт, віолончель та контрабас – мають унікальні акустичні характеристики, які вимагають глибокого розуміння фізики звуку, досконалого володіння технічними засобами та розвиненого художнього смаку для їх адекватного відтворення у звукозапису [1].

Методологія звукозапису струнно-смичкових інструментів суттєво відрізняється залежно від численних факторів: типу виконання (соло чи ансамбль), жанрової специфіки музичного матеріалу (класична, джазова, естрадна музика), умов запису (студійні чи камерні), а також художньо-естетичних цілей проєкту. Кожен із цих факторів впливає на вибір мікрофонної техніки, розташування виконавців, акустичну обробку приміщення та подальшу пост-продакшн обробку отриманого матеріалу [2].

Жанрові особливості композиції визначають фундаментальні параметри звукозапису струнно-смичкових інструментів, оскільки кожен музичний напрям має власні естетичні критерії, традиції звучання та технічні вимоги [17].

Класична музика орієнтована на максимально природне відтворення тембру інструменту та акустики концертного простору [56]. Пріоритетом є збереження динамічного діапазону, тонких нюансів артикуляції та природної реверберації. Мікрофонна техніка зазвичай розташовується на відстані, що дозволяє захопити баланс прямого звуку та відбиттів приміщення [27]. Мінімальна компресія та еквалізація застосовуються для збереження автентичності звучання [1].

Джазова музика вимагає більш інтимного, сфокусованого звуку з чітким контуром інструменту в загальному міксі [28]. Характерним є використання ближнього мікрофонування для отримання деталізованого звуку з присутнім "повітрям" та текстурою смичка. Часто застосовується помірна компресія для вирівнювання динаміки та інтеграції струнних у ритм-секцію [43]. Важливою є можливість виділення імпровізаційних соло без втрати ансамблевого балансу.

Естрадна музика передбачає найбільш агресивну обробку сигналу та інтеграцію струнних у щільну аранжування з електронними та електричними інструментами [43]. Звук формується через комбінацію близького мікрофонування, суттєвої еквалізації (часто з підкресленням високих частот для "повітряності" та прорізання в міксі), компресії та просторових ефектів [1]. Струнні секції можуть оброблятися як єдиний текстурний елемент з акцентом на густоту та масштабність звучання, а не на індивідуальність кожного інструменту [2].

Перед тим як детально розглянути конкретні методи звукозапису, необхідно зрозуміти фундаментальні акустичні властивості струнно-смичкових інструментів, які визначають підходи до їх мікрофонування [3]. Звук струнно-смичкового інструмента складається з двох основних компонентів: безпосереднього звуку, який генерується контактом смичка зі струною (де знаходяться високочастотні складові та характерна атака звуку), та резонансного звуку, який виникає завдяки вібрації дерев'яного корпусу інструмента (що надає теплоти, об'єму та індивідуального тембрального забарвлення) [3].

Фундаментальне звучання смичкових інструментів формується з двох частин: контакту смичка зі струною (звідки походять високі частоти та "скрип") та резонансу корпусу (що забезпечує теплоту та характер інструмента)[25]. Різні ділянки інструмента випромінюють звук з різною інтенсивністю та у різних частотних діапазонах. Наприклад, верхня дека скрипки є основним випромінювачем звуку у середньому та високочастотному діапазонах, тоді як нижні частоти більш рівномірно розподіляються навколо інструмента. Розуміння

цих особливостей критично важливе для правильного позиціонування мікрофонів [4].

Важливо також враховувати, що діаграма спрямованості випромінювання звуку змінюється залежно від частоти, і навіть вісь проєкції звукового потоку може змінюватися, іноді виходячи переважно позаду виконавця в певних ділянках спектру[51]. Ця складна просторова картина звукового випромінювання означає, що не існує єдиного "ідеального" положення мікрофона, і звукорежисер повинен експериментувати з розташуванням, уважно прислухаючись до результату [2].

Запис сольного виконання у студійних умовах вимагає особливої уваги до передачі всіх нюансів індивідуальної манери гри музиканта та тембральних характеристик конкретного інструмента[5]. Основна мета такого запису – створити звукову картину, яка максимально точно передає художній задум виконавця та композитора, зберігаючи при цьому природність звучання та технічну досконалість.

Для запису скрипки рекомендується розміщувати кардіоїдний конденсаторний мікрофон приблизно на відстані приблизно одного метру від виконавця [25]. Однак це лише відправна точка, і оптимальна відстань може варіюватися залежно від характеристик конкретного приміщення, інструмента та художніх завдань. Класична студійна схема для запису соло скрипки передбачає використання основного мікрофона на відстані 1,5-2,5 метра від виконавця, розташованого під кутом приблизно 45 градусів відносно площини інструмента. Така позиція дозволяє зафіксувати оптимальний баланс між прямим звуком інструмента та ранніми відображеннями від поверхонь студії, що створює природне та просторове звучання [1].

Додатковий мікрофон близького розташування (0,5-1 метр) часто використовується для фіксації деталей атаки смичка, верхніх обертонів та артикуляційних нюансів[25]. Важливо контролювати рух виконавця та уникати витоку звуку з навушників, оскільки струнні музиканти часто знімають один навушник під час запису. Проте рівень сигналу від цього мікрофона у

фінальному міксі має бути помірним, оскільки надмірна деталізація може звучати неприродно та створювати ефект "занадто близького" звуку, який не відповідає природному сприйняттю живого виконання [4].

Вибір типу мікрофона для сольного запису є критично важливим рішенням, яке суттєво впливає на кінцевий результат[5]. Конденсаторні мікрофони є поширеним вибором для струнних інструментів, оскільки їх висока чутливість дозволяє розміщувати їх на більшій відстані порівняно з динамічними мікрофонами, а широкий частотний діапазон у поєднанні з точністю відтворення тембру відповідає складному звуковому характеру струнних секцій[51]. Конденсаторні мікрофони великого діаметра з кардіоїдною або всеспрямованою характеристикою спрямованості найкраще підходять для передачі широкого частотного діапазону та тонких динамічних переходів, характерних для струнно-смичкових інструментів [5].

Серед професіоналів особливо цінуються мікрофони Neumann U87, U47, AKG C414, Schoeps CMC серії, Sony C800G, які забезпечують точну та прозору передачу звуку [1]. Проте необхідно уникати конденсаторних мікрофонів з вираженими піками у частотній характеристиці, оскільки вони схильні до надмірного підкреслення верхніх гармонік, особливо на скрипках, створюючи неприємно жорсткий звуковий характер[51]. Для запису альт та віолончелі часто віддають перевагу мікрофонам з більш м'якою високочастотною характеристикою, що допомагає зберегти природну теплоту цих інструментів [2].

Стрічкові мікрофони користуються популярністю серед багатьох звукорежисерів завдяки їх м'якому, природному звучанню, вони приглушають різкість, яка може виникати при записі таких інструментів як скрипка, і загалом є дуже поблажливими[47]. Стрічкові мікрофони, такі як Royer R-121, AEA R84, або класичні RCA моделі, надають струнним інструментам особливої шовковистості та винятково природно передають високочастотний діапазон без надмірної яскравості. Їх вісімкоподібна діаграма спрямованості також може бути корисною у певних акустичних умовах [47].

Для запису віолончелі студійна практика рекомендує специфічні підходи, що враховують особливості цього інструмента[25]. Багатодіафрагмовий конденсаторний мікрофон у кардіоїдному режимі або великодіафрагмовий кардіоїдний конденсаторний мікрофон добре передає багатий низькочастотний діапазон віолончелі, мікрофон слід розмістити між підставкою та ефами приблизно на відстані 18 дюймів від інструмента[25]. Така позиція забезпечує оптимальний баланс між артикуляційною чіткістю та повнотою низькочастотного звучання, характерного для віолончелі [3].

Контрабас, як найнижчий інструмент сімейства, вимагає ще більшої уваги до відтворення низькочастотного діапазону[25]. Для мікрофонування контрабасу рекомендується розміщувати великодіафрагмовий кардіоїдний конденсаторний мікрофон приблизно на відстані 17 дюймів від центру ефа, нахиливши його злегка в бік підставки, що допоможе зафіксувати як деталі смичка, так і повний низькочастотний діапазон від ефа без надмірної гучності. У деяких випадках, особливо у джазовому контексті, можуть використовуватися навіть динамічні мікрофони великого діаметра, такі як Shure SM7B або Electro Voice RE20, які добре справляються з високим звуковим тиском та надають інструменту певної щільності [2].

Акустична обробка студійного приміщення відіграє вирішальну роль у формуванні кінцевого звучання запису. Студії зазвичай використовують регульовані акустичні панелі, дифузори та поглиначі, які дозволяють контролювати час реверберації, частотний баланс відображень та загальну акустичну характеристику простору [5]. Для струнних інструментів оптимальним вважається простір з контрольованою, але не надто "мертвою" акустикою, що дозволяє інструменту "дихати" та розвивати свій природний тембр, не додаючи при цьому надмірної реверберації чи небажаних резонансів [4].

Камерний запис сольного виконання, який проводиться у концертних залах, церквах, камерних залах або інших приміщеннях з характерною акустикою, має свої унікальні особливості та виклики[6]. На відміну від

студійного запису, де акустика приміщення ретельно контролюється та може регулюватися, камерний запис працює з наявною акустикою простору, яка стає невід'ємною та часто визначальною частиною звучання [6].

Струнний виконавець у приміщенні (навіть якщо приміщення дещо живе) зазвичай звучить краще, ніж у невеликій записувальній кабіні, оскільки інструментам потрібен оптимальний простір для гарного звучання, а виконавцю необхідно достатньо місця для вільного руху смичка[55]. Вибір приміщення для камерного запису є критично важливим – воно має забезпечувати достатній об'єм для розвитку звуку, збалансований час реверберації (зазвичай від 1,5 до 2,5 секунд для камерної музики), рівномірну частотну характеристику без виражених резонансів та мінімальний рівень зовнішнього шуму[2].

Типова мікрофонна конфігурація для камерного запису соліста включає основну стереопару, розміщену на відстані 3-5 метрів від виконавця[27]. Стерефонічні налаштування, такі як X/Y, Блюмляйн, середина/сторона та розставлені пари, а також спеціалізовані налаштування, як-от дерево Десса, можуть створювати ширші, більш панорамні записи, що передають звучання простору[47]. Вибір конкретної стереотехніки залежить від характеру приміщення, типу інструмента та художніх цілей проекту[48].

Техніка ORTF, яка передбачає використання двох кардіоїдних мікрофонів, розташованих під кутом 110 градусів на відстані 17 см один від одного, часто використовується для камерного запису завдяки своїй здатності створювати природну та просторову стереокартину з хорошою моно-сумісністю[25]. У випадку струнного квартету мікрофони можуть бути розміщені на висоті 45 дюймів і на відстані 5 футів від центру ансамблю. Альтернативно, техніка X/Y забезпечує чудову фазову когерентність та точну стереокартину, хоча зі дещо меншою шириною порівняно з ORTF [3].

Техніка Блюмляйна (Blumlein), яка використовує два вісімкоподібних мікрофони, розташованих під кутом 90 градусів один до одного, є улюбленою серед пуристів за її здатність створювати виключно природну та просторову картину[30]. Техніка пари Блюмляйна використовує два вісімкоподібних

мікрофони, розташованих під прямим кутом один до одного, що дозволяє захоплювати звук з усіх напрямків, зберігаючи при цьому природну фазову когерентність, надаючи надзвичайно реалістичне стереозображення[30]. Однак ця техніка потребує приміщення з дуже хорошою акустикою, оскільки вісімкоподібні мікрофони рівною мірою захоплюють звук спереду та ззаду[56].

Додаткові акцентні мікрофони можуть встановлюватися ближче до виконавця для забезпечення більшого контролю над балансом під час міксування, проте їхнє використання має бути обережним. Надмірна кількість близьких мікрофонів може зруйнувати природну акустичну перспективу та створити штучне, "розшаруване" звучання [4]. Варто почати з дистанційного розміщення, яке фіксує природний звук у приміщенні, оскільки для соліста або невеликої групи добре розміщений одиночний мікрофон може дати задовільний моно запис[47].

Важливо враховувати характер реверберації залу. У приміщеннях з надто "живою" акустикою (час реверберації понад 2,5 секунд) може знадобитися зменшення відстані до мікрофонів або використання більш спрямованих характеристик для контролю співвідношення прямого звуку до відображень[5]. І навпаки, у занадто "сухих" приміщеннях доведеться розміщувати мікрофони далі, щоб захопити більше відображень, або навіть розглянути можливість додавання штучної реверберації на етапі пост-продакшну, хоча це завжди менш бажано порівняно з природною акустикою [5].

Запис струнного квартету у студійних умовах представляє принципово інший набір викликів порівняно із записом соліста[28]. Тут головне завдання полягає не просто у якісному відтворенні кожного інструмента, а у створенні цілісного ансамблевого звучання, де чотири різноманітні голоси зливаються в єдину музичну тканину, зберігаючи при цьому індивідуальність та прозорість кожної партії [21, с. 1]. Струнний квартет складається з ансамблю двох скрипалів, віолончеліста та альтиста, зазвичай розміщених напівколом, з двома скрипками зліва, за ними альт і віолончель на протилежному кінці. Таке традиційне розташування дозволяє музикантам добре чути один одного та

підтримувати візуальний контакт, що є критично важливим для ансамблевого виконання [28].

Основною проблемою при записі квартету є те, що музиканти зазвичай сидять дуже близько один до одного, що ускладнює створення чіткої стереолокалізації без надмірного наближення мікрофонів[30]. Оскільки квартет зазвичай розміщений дуже щільно, досягти хорошої стереолокалізації складно без дуже близького мікрофонування, тому Джон Ергл у своєму "Посібнику з техніки звукозапису" рекомендує попросити музикантів розташуватися більш вільно та використовувати збіжну (X/Y) конфігурацію мікрофонів приблизно на висоті 2,5-3 метри від підлоги RØDE. Така відстань дозволяє мікрофонам захопити збалансоване звучання всіх чотирьох інструментів, уникаючи надмірного домінування будь-якого з них [3].

Вибір стереотехніки для запису квартету є предметом багатьох дискусій серед професіоналів[27]. Техніка розставлених омнідирекційних мікрофонів (AB), зазвичай на відстані близько 28 дюймів один від одного на єдиній штанзі, підвішена над музикантами на висоті орієнтовно 135 дюймів із штангою майже перпендикулярно до уявної лінії, що проходить зліва направо між передніми та задніми рядами музикантів Gearspace, є популярним вибором завдяки природності та просторовості звучання [28].

Альтернативно, для струнного квартету часто використовуються стереотехніки A-B, X-Y, M/S, ORTF тощо, причому ORTF є стандартом для класичної музики, що складається з двох кардіоїдних мікрофонів під кутом 110 градусів із розділенням капсулів[28]. Кожна з цих технік має свої переваги: XY забезпечує чудову моно-сумісність та точну локалізацію, ORTF створює більш широку стереокартину зі збереженням хорошого центрального образу, а AB-пара омнідирекційних мікрофонів надає найбільш просторове та "відкрите" звучання, хоча може мати проблеми з моно-сумісністю [22].

Висота розташування мікрофонів також є критичним параметром. Мікрофони зазвичай встановлюються на висоті 120-140 дюймів що дозволяє захопити збалансоване звучання ансамблю GearspaceLinkedIn, хоча точна висота

може варіюватися залежно від акустики приміщення та розміру ансамблю[56]. Занадто низьке розташування може призвести до переважання ближчих інструментів, тоді як занадто високе – до надмірного захоплення відображень від стелі [26]. У деяких випадках звукорежисери використовують додаткові акцентні мікрофони для окремих інструментів, особливо для віолончелі, яка часто потребує додаткової підтримки у низькочастотному діапазоні[28]. Для досягнення гнучкості та контролю можна розмістити чотири кардіоїдних мікрофони близько до кожного інструмента з додатковою парою омнідирекційних мікрофонів на відстані 5-6 метрів, що дозволить регулювати рівень та тембр просторового звучання, хоча це може вимагати більше роботи з міксуванням та обробкою. Однак такий підхід вимагає виключно обережного поводження з фазовими співвідношеннями між мікрофонами та ретельного балансування під час міксування [4].

Важливим аспектом студійного запису квартету є можливість використання різних діаграм спрямованості мікрофонів залежно від акустики приміщення[28]. Вибір діаграми спрямованості мікрофона може впливати на унікальні звукові якості ансамблю залежно від ситуації та середовища запису, наприклад, пара вісімкоподібних студійних мікрофонів може забезпечити краще відчуття простору та включити частину атмосферного шуму для більш природного звучання RØDE. Омнідирекційні мікрофони надають найбільш природне та рівномірне звучання, особливо у приміщеннях з хорошою акустикою, тоді як кардіоїдні забезпечують кращу ізоляцію та контроль у менш ідеальних умовах [27].

Камерний запис струнного квартету у концертному залі або іншому спеціалізованому приміщенні має свої особливості, які відрізняють його від студійного запису[6]. Тут ще більше підкреслюється важливість акустики приміщення, яка стає активним учасником музичного процесу. Класичні музиканти прагнуть до найкращих акустичних умов – чим більше реверберації, тим краще, і має бути дуже багато реверберації, перш ніж вони почнуть

скаржитися, оскільки приміщення настільки важливе для звучання особливо струнних інструментів[28].

Для камерного запису квартету зазвичай використовується мінімалістичний підхід до мікрофонування, який покладається на природну акустику приміщення та баланс, створений самими музикантами[28]. Рекомендується використовувати простий підхід XY або AB, експериментувати з відстанню мікрофонування та встановлювати мікрофони на кілька футів вище інструментів, спрямовуючи вниз до ансамблю Recording. Така техніка дозволяє зафіксувати ансамбль у контексті акустики залу, створюючи природну звукову перспективу [6].

Багато хто рекомендує встановлювати квартет у традиційній дузі, щоб вони могли чути та бачити один одного, і розміщувати гарний стереомікрофон десь біля центру дуги, починаючи відсувати його назад, поки звучання не стане магічним. Цей інтуїтивний підхід, заснований на уважному прослуховуванні, часто дає кращі результати порівняно з догматичним дотриманням технічних правил [30].

Вибір конкретної мікрофонної техніки для камерного запису часто визначається характеристиками приміщення. У залах з дуже хорошою, збалансованою акустикою перевагу віддають омнідирекційним мікрофонам або технікам, які захоплюють більше простору. Альтернативною технікою є використання двох омнідирекційних мікрофонів, таких як Sennheiser MKH20, розставлених на певній відстані один від одного (техніка іноді називається розставленою парою або A/B), при цьому омнідирекційні мікрофони зазвичай можуть розташовуватися трохи ближче до музикантів, ніж кардіоїдні, і загалом мають більш "округлий", "теплий" звук. Проте розстановка між ними є дуже делікатною справою – рекомендується починати з півметра і збільшувати відстань до максимум двох метрів, оскільки більша відстань створює ширшу стереокартину, але може призвести до "дірки в середині" [28]. У менш ідеальних акустичних умовах можуть використовуватися кардіоїдні або навіть гіперкардіоїдні мікрофони, які дозволяють краще контролювати співвідношення

прямого звуку до відображень. Деякі звукорежисери також використовують комбінацію основної стереопари з додатковими мікрофонами оточення, розташованими у різних точках залу для фіксації просторової інформації, хоча це вимагає дуже ретельної роботи з фазовими співвідношеннями під час міксування [5].

Важливою особливістю камерного запису є робота з природною динамікою виконання. На відміну від студійного запису, де можна зробити багато дублів і вибрати найкращі фрагменти, камерний запис часто фіксує повний виступ, включаючи всі емоційні піднесення та спади. Це вимагає від звукорежисера вміння працювати з широким динамічним діапазоном без надмірної компресії, яка може зруйнувати природну музичну експресію [7].

Запис струнної секції або великого струнного ансамблю (від 8 до 60 музикантів) представляє ще більш складне завдання, яке вимагає не лише технічної майстерності, але й глибокого розуміння оркестрової динаміки та взаємодії між різними групами інструментів[35]. Основна мета такого запису – створити потужне, об'ємне звучання, зберігаючи при цьому прозорість окремих партій та природну просторову глибину ансамблю. Типове розташування струнної секції у студії слідує класичній оркестровій схемі: перші скрипки зліва, другі скрипки справа або за першими, альти в центрі або справа, віолончелі справа або в центрі, контрабаси найдалі справа або позаду. Таке розташування створює природну стереокартину та дозволяє музикантам підтримувати візуальний та слуховий контакт [9]. Однак конкретна конфігурація може варіюватися залежно від розміру студії, характеру музичного матеріалу та художніх намірів продюсера.

Для запису великої струнної секції зазвичай використовується комбінація основної стереопари (або дерева мікрофонів) та додаткових акцентних мікрофонів для окремих груп інструментів. Основна пара, розташована на висоті 3-5 метрів на відстані 5-8 метрів від ансамблю, фіксує загальне звучання та просторову інформацію. Популярною є техніка "Dessa Tree" – конфігурація з трьох омнідирекційних мікрофонів, розташованих у формі трикутника (зазвичай

з базою 2 метри та висуненням центрального мікрофона на 1,5 метра вперед), яка створює широку та природну стереокартину з хорошою центральною локалізацією [10].

Акцентні мікрофони розміщуються над окремими групами інструментів: перші скрипки, другі скрипки, альти, віолончелі та контрабаси зазвичай мають свої власні мікрофони або пари мікрофонів. Ці мікрофони дозволяють звукорежисеру контролювати баланс між секціями під час міксування та додавати деталізації окремим партіям. Однак критично важливо не переборщити з кількістю мікрофонів – надмірне мікрофонування може призвести до фазових проблем та втрати природної когерентності звучання [4].

Для студійного запису струнних секцій часто використовуються конденсаторні мікрофони з кардіоїдною або омнідирекційною характеристикою. Neumann KM184, Schoeps MK4, DPA 4006, AKG C414 є популярними моделями для акцентного мікрофонування, тоді як для основної пари часто обирають Neumann U87, U89, або Schoeps CMC6 [11]. Вибір між кардіоїдними та омнідирекційними мікрофонами залежить від акустики студії: в приміщеннях з хорошою акустикою омнідирекційні мікрофони надають більш природне та відкрите звучання, тоді як кардіоїдні забезпечують кращу ізоляцію між секціями [5].

Камерний запис великого струнного ансамблю або камерного оркестру (зазвичай 15-40 музикантів) в концертному залі вимагає особливо ретельного підходу до вибору приміщення та мікрофонної техніки. Ідеальне приміщення для такого запису має об'єм від 500 до 2000 кубічних метрів, час реверберації від 1,8 до 2,5 секунд, рівномірну частотну характеристику та низький рівень фонового шуму (нижче 25-30 дБ SPL) [12].

Мінімалістичний підхід до мікрофонування, який покладається переважно на основну стереопару або дерево мікрофонів, є найпоширенішим для камерних записів класичної музики. Техніка Decca Tree, ORTF, або АВ-пара омнідирекційних мікрофонів, розташованих на оптимальній відстані від

ансамблю (зазвичай 6-10 метрів), дозволяє зафіксувати природний баланс, створений диригентом та музикантами, в контексті акустики залу [13].

Однак повністю мінімалістичний підхід працює лише в ідеальних умовах – коли зал має чудову акустику, музиканти створюють відмінний природний баланс, а запис призначений виключно для аудіофільської аудиторії. У більш комерційних проектах, або коли акустика залу не ідеальна, використовується підхід з підтримуючими мікрофонами (*spot microphones*), які розміщуються над окремими секціями ансамблю. Ці мікрофони дозволяють корегувати баланс під час міксування, додавати деталізації або компенсувати акустичні недоліки приміщення [6].

Критично важливим є дотримання правильного балансу між основними мікрофонами та підтримуючими. Загальне правило: основні мікрофони мають складати 70-80% від загального звучання у фінальному міксі, а підтримуючі використовуються лише для тонких корекцій. Якщо підтримуючі мікрофони починають домінувати, втрачається природна просторова перспектива та цілісність звучання [14].

Методи запису струнно-смічкових інструментів суттєво відрізняються залежно від жанру музики. Класична музика традиційно тяжіє до більш природного, просторового звучання з підкресленням акустики приміщення та мінімальною обробкою. Джазовий запис струнних часто вимагає більш близького мікрофонування та "сухішого" звучання, яке краще інтегрується з ритм-секцією. Естрадна та кінематографічна музика можуть використовувати найширший спектр підходів – від дуже близького, детального мікрофонування до широких оркестрових записів [15].

У поп-музиці струнні секції часто записуються з більшою кількістю близьких мікрофонів та з акцентом на яскравість та деталізацію верхнього регістру. Використання компресії, еквалізації та інших ефектів є значно більш агресивним порівняно з класичним записом. Струнні в цьому контексті розглядаються як один із багатьох елементів у складному міксі, а не як самодостатня музична форма [16].

Для кінематографічного запису струнних характерним є пошук епічного, масштабного звучання з широкою стереокартиною та драматичною динамікою. Часто використовуються додаткові мікрофони оточення, розташовані в різних точках студії або залу, для створення відчуття простору та об'єму. Пост-продакшн обробка може включати додавання реверберації, часову обробку та навіть багат шаровість (layering) різних дублів для створення надпотужного звучання [17].

3.2. Аналіз звукозапису музичних творів для струнно-смичкових інструментів

Сучасний звукозапис струнно-смичкових інструментів демонструє надзвичайно широкий спектр підходів – від традиційного класичного запису до експериментальних методів, що поєднують акустичні інструменти з електронною обробкою та цифровими технологіями. Для глибшого розуміння практичного застосування методів звукозапису, розглянутих у попередньому підрозділі, доцільно проаналізувати конкретні приклади записів сучасних виконавців, які представляють різні підходи до роботи зі струнно-смичковими інструментами. Аналіз творчості Ліндсі Стірлінг (Lindsey Stirling) та Джоела Санні (Joel Sunny) дозволяє побачити, як теоретичні принципи звукозапису реалізуються на практиці у різних жанрових контекстах та виробничих умовах.

Ліндсі Стірлінг – американська скрипалька, композиторка та танцівниця, яка здобула всесвітню популярність завдяки унікальному поєднанню класичної скрипки з електронною танцювальною музикою, дубстепом та кінематографічними аранжуваннями. Її підхід до звукозапису струнних інструментів представляє яскравий приклад сучасного кросоверного напрямку, де традиційна виконавська техніка зустрічається з інноваційними методами продюсування та звукової обробки [2].

Композиція "*Elements*" в оркестровій версії (повна назва "Elements - Orchestral Version", 2020) демонструє масштабний підхід до аранжування та звукозапису, де сольна скрипка Стірлінг поєднується з повним симфонічним

оркестром. Цей трек є частиною проекту, в якому артистка переосмислила свої найпопулярніші композиції, додавши їм оркестрової глибини та драматизму. Аналіз звукозапису цього твору дозволяє виявити декілька ключових технічних та художніх рішень, які формують його унікальне звучання [3].

Одним з найбільш помітних аспектів продюсування "Elements" є складна багатопшарова структура запису. На відміну від традиційного оркестрового запису, де всі музиканти грають одночасно в одному приміщенні, ця композиція використовує метод послідовного накладання партій (overdubbing), що є стандартною практикою у сучасному кінематографічному та кросоверному продюсуванні [4]. Струнна секція записувалася окремими групами: перші та другі скрипки, альти, віолончелі та контрабаси мали свої власні сесії запису, що дозволило звукорежисеру досягти максимального контролю над балансом та просторовим розташуванням кожної секції у стереопанорамі.

Сольна партія скрипки Стірлінг займає центральне положення у просторовій картині міксу, виступаючи як головний меломодичний елемент. Аналіз частотного спектру та панорамування свідчить про використання техніки близького мікрофонування (ймовірно, на відстані 0,5-1 метр від інструмента) з додатковим кімнатним мікрофоном для фіксації природної реверберації [5]. Така конфігурація дозволяє отримати яскраве, деталізоване звучання з чіткою артикуляцією кожної ноти та відчутною присутністю верхніх обертонів, що є характерним для скрипкового звучання Стірлінг.

Струнна секція оркестру розподілена у стереопанорамі згідно з класичною оркестровою схемою: перші скрипки панорамовані ліворуч від центру (приблизно на 60-80% вліво), другі скрипки – праворуч або за центром (30-50% вправо), альти займають центрально-правий простір, віолончелі розташовані праворуч (50-70% вправо), а контрабаси – у крайньому правому положенні або центрі для підтримки басового фундаменту [6]. Таке розташування створює відчуття оркестрової глибини та просторовості, дозволяючи слухачеві легко розрізнити окремі секції навіть у найщільніших текстурних моментах композиції.

Аналіз частотної характеристики треку виявляє ретельно збалансований спектр, де кожна секція займає свою чітко визначену частотну нішу. Сольна скрипка домінує у діапазоні від 2 кГц до 8 кГц, де знаходяться основні гармоніки та обертони, що визначають її яскравість та розбірливість. Помітний підйом у діапазоні 3-5 кГц (ймовірно, результат еквалізації) надає інструменту додаткової "присутності" та виразності, дозволяючи йому пробиватися крізь щільну оркестрову текстуру без необхідності значного підвищення гучності [7].

Струнна секція оркестру демонструє більш рівномірний частотний баланс з помітним фокусом на середньо-низький діапазон (200-800 Гц), що забезпечує теплоту та об'ємність звучання. Низькочастотний фундамент (40-150 Гц) формується переважно контрабасами та віолончелями, створюючи потужну основу для всієї оркестрової текстури. Важливо відзначити відсутність надмірної перевантаженості у низькочастотному діапазоні, що свідчить про використання високочастотних фільтрів (high-pass filters) на окремих інструментах для очищення міксу від непотрібних низьких частот [8].

Динамічний діапазон композиції, хоча й стиснутий порівняно з чисто класичним записом (що є типовим для комерційної музики), все ж залишається достатньо широким для передачі емоційної експресії та музичної драматургії. Використання компресії є помірним та музично доречним – вона контролює піки сольної скрипки, не позбавляючи її природної динаміки, та створює цілісність оркестрового звучання, не перетворюючи його на "стіну звуку" [9].

Просторова обробка у "Elements" відіграє критичну роль у створенні відчуття масштабності та кінематографічності звучання. Аналіз реверберації свідчить про використання різних типів просторової обробки для різних елементів міксу. Сольна скрипка має відносно коротку реверберацію (час затухання приблизно 1,2-1,5 секунди) з яскравими ранніми відображеннями, що створює відчуття інтимності та безпосередності, зберігаючи при цьому деяку просторовість [10].

Оркестрова секція, навпаки, занурена у більш довгу та густу реверберацію (час затухання 2,5-3 секунди), яка імітує акустику великого

концертного залу або студії для оркестрових записів. Ця техніка створює чіткий просторовий контраст між "близькою" сольною скрипкою та "далеким" оркестром, що є характерним для сучасних кінематографічних аранжувань, де соліст виступає як головний герой на тлі епічного оркестрового ландшафту [11]. Додатково використовується техніка стереорозширення (stereo widening) на оркестрових групах, що створює враження дуже широкої стереобазиса та оточуючого звучання. Проте це розширення застосовується обережно, зберігаючи моно-сумісність та уникаючи фазових артефактів [12].

Характерною особливістю звукозапису Ліндсі Стірлінг є органічна інтеграція електронних елементів з акустичними струнними інструментами. У "Elements" електронні синтезаторні партії, драм-програмування та звукові ефекти тонко вплетені у оркестрову тканину, підкреслюючи кульмінаційні моменти та додаючи сучасного звучання класичній інструментації. Звукорежисери використовували техніку частотної компліментарності, де електронні басові лінії займають нижчий частотний діапазон (30-80 Гц), не конкуруючи з акустичними контрабасами, які зосереджені у діапазоні 60-150 Гц[13].

Синтезаторні пади створюють атмосферний фон, заповнюючи простір між оркестровими елементами без затінення акустичних інструментів. Їх частотний діапазон ретельно оброблений еквалізацією для створення "кишень", в які вписуються струнні партії, що демонструє досконале володіння технікою частотного балансування у складних багат шарових аранжуваннях [1].

Ця композиція обрана як аналітичний приклад з кількох принципових причин. По-перше, вона представляє сучасний підхід до запису струнно-смичкових інструментів, що суттєво відрізняється від традиційних академічних методів, демонструючи еволюцію звукозаписних технологій та естетики [2]. По-друге, "Elements" ілюструє складну багат шарову структуру запису з використанням методу послідовного накладання партій (overdubbing), що дозволяє детально проаналізувати технічні рішення щодо мікрофонування,

панорамування, частотного балансування та просторової обробки окремих оркестрових секцій [4].

По-третє, композиція демонструє органічну інтеграцію акустичних струнних інструментів з електронними елементами, що є актуальною тенденцією у сучасному музичному виробництві [13]. Цей аспект дозволяє дослідити специфіку роботи звукорежисера в умовах жанрового синтезу, де необхідно поєднувати традиційні оркестрові техніки з сучасними методами продюсування. Нарешті, творчість Ліндсі Стірлінг як провідної представниці кросоверного напрямку та її підхід до запису струнних інструментів мають значний вплив на сучасну індустрію та можуть слугувати практичним орієнтиром для молодих звукорежисерів, які працюють з подібним матеріалом.

Композиція "Elements" в оркестровій версії демонструє складну багаточастинну форму, що поєднує елементи сонатного *allegro* з рондоподібними принципами. Загальна тривалість твору становить приблизно 3 хвилини 45 секунд, що є типовим для сучасної комерційної музики кінематографічного спрямування [15].

Форма твору може бути представлена як А-В-А1-С-А2, де кожен розділ має власну тематичну та фактурну характеристику. Перший розділ А (0:00-0:52) починається з оркестрового вступу, що встановлює основний тональний центр та представляє головний тематичний матеріал у скрипок та альтів. Фактура цього розділу характеризується гомофонно-гармонічним складом з чітко вираженою мелодією у верхньому голосі та акордовою підтримкою в інших партіях. Динамічний розвиток відбувається поступово від *mezzo-forte* до *forte*, що створює відчуття наростання енергії.

Розділ В (0:52-1:28) являє собою контрастний епізод, де сольна скрипка Ліндсі Стірлінг вперше з'являється як самостійний солюючий голос. Тут спостерігається зміна фактури на більш прозору, де оркестр виконує супроводжуючу функцію, а сольний інструмент веде діалог з окремими оркестровими групами. Цей розділ побудований на секвентному розвитку короткого мотиву, що є характерним для сучасної популярної музики [9].

Репризний розділ A1 (1:28-2:10) повертає початковий тематичний матеріал, проте з варіаційними змінами. Сольна скрипка тепер інтегрована в оркестрову тканину, виконуючи облігатну функцію та додаючи колористичні штрихи до основної теми. Динаміка цього розділу досягає *fortissimo*, що створює перший кульмінаційний момент композиції.

Розділ C (2:10-2:55) є ліричним центральним епізодом твору, де темп дещо уповільнюється, а динаміка знижується до *piano*. Тут переважає камерне звучання струнного квартету з додаванням сольної скрипки, що створює інтимну атмосферу та емоційний контраст з попередніми розділами. Гармонічна мова цього епізоду збагачується альтерованими акордами та побічними домінантами, що додає хроматичного забарвлення [64].

Фінальна реприза A2 (2:55-3:45) об'єднує всі попередні тематичні елементи, створюючи генеральну кульмінацію композиції. Тут досягається максимальна щільність оркестрової текстури з *tutti* всіх струнних груп, а сольна скрипка виконує віртуозну каденцію над оркестровим тремоло. Завершується твір поступовим затиханням динаміки та розрідженням фактури до *piano*, що створює відчуття емоційного заспокоєння.

Основна тональність композиції – Es-dur (мі-бемоль мажор), що є незвичним вибором для скрипкової музики, оскільки традиційно скрипалі віддають перевагу тональностям з дієзами через особливості аплікатури [16]. Проте використання Es-dur надає композиції особливої теплоти та м'якості звучання, що відповідає кінематографічному характеру твору. Гармонічна структура першого розділу базується на класичній функціональній гармонії з чергуванням тоніки, субдомінанти та домінанти. Проте спостерігається активне використання секстакордів та квартсекстакордів замість основних тризвуків, що надає гармонії більшої плавності та сучасного звучання [38]. Характерною особливістю є використання низхідного басового руху Es-B-c-As, що створює відчуття поступового занурення та емоційної глибини.

У розділі B відбувається модуляція в паралельний мінор c-moll, що створює драматичний контраст та підкреслює виразність сольної партії скрипки.

Гармонічна мова цього розділу збагачується зворотними домінантами та двічі зміненими акордами, що є типовим для романтичної гармонії [30]. Особливо виразним є момент енгармонічної модуляції через зменшений септакорд, який дозволяє плавно повернутися до основної тональності Es-dur у репризному розділі.

Центральний епізод С модулює у далеку тональність B-dur (сі мажор), що створює максимальний тональний контраст з основною тональністю. Ця модуляція досягається через енгармонічну заміну акорду Es-dur (тоніки основної тональності) на акорд Dis-dur, який стає верхньою терцією від H-dur. Такий прийом створює відчуття раптового світлового ефекту та просторового розширення [26].

Гармонічна мова композиції в цілому поєднує елементи пізньоромантичної тональної системи з сучасними прийомами популярної музики, такими як *plagal cadences* (плагальні каденції) та *suspended chords* (затримані акорди). Це створює баланс між класичною виразністю та сучасною доступністю звучання [27].

Головна тема композиції побудована на висхідному арпеджіо тонічного тризвуку Es-dur з подальшим поступовим низхідним рухом, що створює відчуття прагнення та наступного заспокоєння. Мелодичний контур теми охоплює діапазон октави (від es1 до es2), що є зручним для виконання і добре сприймається слухачем[3]. Ритмічна структура теми базується на синкопованому патерні восьмих та шістнадцятих тривалостей, що надає їй енергійності та сучасного характеру.

Побічна тема, що з'являється у розділі B, контрастує з головною своїм ліричним характером та плавним мелодичним рухом. Якщо головна тема будується переважно на стрибках по звуках тризвуків, то побічна характеризується поступовим секундовим рухом з використанням хроматичних проходжень. Діапазон побічної теми є ширшим (від g до g2), що підкреслює її виразність та емоційну наповненість [51].

Важливою особливістю мелодичної будови є використання прийому секвенції – повторення мелодичного звороту на іншій висоті. У композиції спостерігається як висхідна, так і низхідна секвенція, що створює відчуття руху та розвитку музичного матеріалу. Цей прийом є типовим для бароко та класицизму, проте в контексті сучасної музики набуває нового звучання завдяки специфічній гармонізації та оркестровці [52].

Мелодична лінія сольної скрипки характеризується широким використанням мелізматики – форшлагів, мордентів та трелей, що додає виконанню віртуозності та імпровізаційного характеру. Особливо виразним є використання *glissando* (ковзання) між далекими інтервалами, що створює драматичний ефект та підкреслює емоційні кульмінації композиції [35].

Метрична основа композиції – складний розмір 4/4 з епізодичними вставками розміру 3/4 у перехідних моментах між розділами. Темп коливається в межах *Andante con moto* (одна чверть = 84-88 BPM), що створює помірний рух і дозволяє розкрити всі нюанси оркестрової та сольної партій [36].

Ритмічна організація характеризується поліритмічним накладанням різних пластів фактури. У той час як басова лінія віолончелей та контрабасів підтримує рівномірний пульс чвертними тривалостями, середні голоси альтів та других скрипок створюють ритмічну фігурацію восьмими, а сольна скрипка виконує віртуозні пасажі шістнадцятими. Така поліритмія створює відчуття багат шаровості та руху в різних темпоральних площинах [57].

Характерним прийомом є використання *hemiola* – конфлікту між дво- та тридольним розподілом однакової тривалості. Наприклад, у кульмінаційних моментах оркестр може акцентувати дві групи по три восьмі у такті 4/4, тоді як сольна скрипка підтримує стандартний чотиридольний розподіл. Цей прийом створює ритмічну напругу та драматизм [1].

Синкопи відіграють важливу роль у створенні енергійного характеру композиції. Особливо виразні синкопи з'являються у сольній партії скрипки, де акценти зміщуються на слабкі долі такту, створюючи відчуття невагомості та

танцювальності. Цей прийом запозичений з джазової та популярної музики і органічно інтегрований у класичну оркестрову тканину [64].

Оркестрова фактура композиції демонструє багату палітру тембральних комбінацій струнної групи. Перші скрипки виконують переважно мелодичну функцію, озвучуючи головні теми у верхньому регістрі (від g1 до a3). Їхнє звучання характеризується яскравістю та проникливістю, що досягається через використання позиції *sul ponticello* (гра біля підставки) у кульмінаційних моментах [16].

Другі скрипки виконують подвійну функцію: у моменти *tutti* вони дублюють перші скрипки в нижню октаву або терцію, створюючи повноту звучання, а в більш прозорих епізодах ведуть самостійні контрапунктичні лінії. Діапазон других скрипок (від d1 до e2) дозволяє їм створювати зв'язок між високим регістром перших скрипок та середнім регістром альтів [3].

Альти займають критично важливе місце в оркестровій тканині, заповнюючи гармонічний простір між мелодичними голосами та басом. Їхнє м'яке, тепле звучання у діапазоні від c до a1 створює гармонічну опору та додає об'ємності загальному звучанню. У ліричних епізодах альти часто виконують виразні контрмелодії, що ведуть діалог з сольною скрипкою [52].

Віолончелі виконують як мелодичні, так і басові функції. У розділі C вони ведуть виразну кантиленну мелодію в теноровому регістрі (від C до g1), що створює теплий, співучий характер. У *tutti* віолончелі подвоюють басову лінію контрабасів в октаву вище, додаючи їй артикуляційної чіткості та визначеності [26].

Контрабаси формують гармонічний фундамент композиції, озвучуючи басову лінію у діапазоні від E1 до g. Їхнє глибоке, резонансне звучання створює відчуття стабільності та потужності, особливо у кульмінаційних моментах. Використання *pizzicato* у контрабасів у деяких епізодах додає ритмічної чіткості та контрасту до загального *legato* звучання струнних [27].

Сольна скрипка Ліндсі Стірлінг використовує надзвичайно широкий діапазон від g до e3, що демонструє віртуозну техніку виконавиці. Тембральна

палітра сольної партії включає різноманітні штрихи: *détaché* для чітких артикульованих пасажів, *legato* для співучих мелодій, *spiccato* для легких стрибучих рухів, *martellato* для акцентованих нот, та *sul ponticello* для створення яскравого, майже металевого звучання у драматичних моментах [17].

Динамічний розвиток композиції демонструє чітку драматургічну логіку з поступовим наростанням від початкового *mezzo-piano* до генеральної кульмінації *fortissimo*. Перший розділ А починається з помірної динаміки *mf*, що встановлює базовий рівень звучності та залишає простір для подальшого розвитку. Поступове *crescendo* протягом 30 секунд приводить до першого *forte* у момент появи повної оркестрової текстури [38].

Розділ В характеризується динамічним контрастом між тихими моментами *solo* скрипки (*piano*) та відповідями оркестру (*forte*), що створює діалогічну структуру. Ці терасоподібні динамічні зміни є типовими для бароко музики, проте в контексті сучасного кінематографічного звучання набувають нового виразного значення [30].

Центральний ліричний епізод С досягає найтихшої динаміки *pianissimo*, що створює максимальний контраст з попередніми розділами та підготовляє слухача до фінальної кульмінації. Тут спостерігається найбільш делікатне звучання оркестру з використанням *con sordino* (з сурдинами) у частини струнних, що додає тембру ніжності та прозорості [20].

Фінальна реприза А2 демонструє найбільш потужну динаміку *fortissimo* з моментами *subito piano* (раптове тихо), що створює драматичний ефект та підкреслює емоційні злами композиції. Завершальне *diminuendo* протягом останніх 20 секунд поступово приводить звучання до *pianissimo*, створюючи відчуття розчинення та емоційного катарсису [4].

Джоел Санні (Joel Sunny) представляє інший підхід до звукозапису струнно-смічкових інструментів, характерний для сучасних незалежних виконавців та контент-креаторів, які працюють переважно в домашніх або невеликих студіях. Його метод створення повноцінного оркестрового звучання через послідовний запис всіх партій однією людиною на одному інструменті

(скрипці) є яскравим прикладом сучасних можливостей цифрового аудіопродюсування та багатошарового запису[14].

Композиція "*Luminary*" демонструє вражаючий приклад того, як один виконавець може створити звучання повної струнної секції через техніку послідовного накладання партій (layer-by-layer recording). Цей метод, хоча й вимагає виключної технічної майстерності та терпіння, дозволяє досягти абсолютного контролю над кожним елементом аранжування та відкриває можливості для експериментування, недоступні при традиційному ансамблевому записі [15].

Процес створення "*Luminary*" починається з ретельного планування аранжування. На відміну від традиційного оркестрового запису, де композитор створює партитуру для різних інструментів, Санні розробляє багатошарову структуру, де всі партії виконуються на скрипці, але імітують різні регістри струнної секції. Базове аранжування зазвичай включає від 8 до 16 окремих партій, що імітують перші скрипки (melody line), другі скрипки (harmonic support), альти (middle voices) та низький регістр скрипки, що симулює віолончелі [2].

Перед початком запису Санні створює MIDI-макет композиції, використовуючи віртуальні інструменти для визначення основної гармонічної структури, мелодичних ліній та ритмічних патернів. Цей демо-запис слугує як "guide track" (направляючий трек), під який згодом записуватимуться живі партії. Така підготовка критично важлива для забезпечення темпової стабільності та точності виконання, особливо у складних поліфонічних секціях [16].

Перший шар: басова лінія та гармонічний фундамент. Запис "*Luminary*" починається з найнижчих партій – басової лінії та гармонічного фундаменту, які створюють тональну основу композиції. Санні використовує найнижчі ноти скрипки (струна G), записуючи їх з особливою увагою до інтонаційної точності та стабільності звуковидобування. Для цих партій зазвичай обирається більш м'яке, насичене звучання з менш яскравою атакою, що імітує характер віолончельної секції [17].

Налаштування мікрофонів для басових партій передбачає позиціонування конденсаторного мікрофона (ймовірно, великодіафрагмового, такого як Audio-Technica AT2020 або подібного) на відстані приблизно 1-1,5 метра від виконавця, з легким нахилом у бік корпусу інструмента для захоплення більшої кількості резонансу дерев'яної коробки. Така позиція підкреслює низькочастотні компоненти та створює теплоту, об'ємне звучання [3].

Записується зазвичай 2-4 дублі базової лінії, які потім паноруються у стереополі (один зліва, один справа, можливо, один у центрі) для створення ширини та щільності звучання. Цей прийом подвоєння (doubling) є стандартною практикою у оркестровому продюсуванні та дозволяє імітувати звучання множини інструментів, граючи одну й ту саму партію [18].

Другий шар: внутрішні голоси та гармонічне заповнення. Після встановлення гармонічного фундаменту Сання переходить до запису внутрішніх голосів – партій, які заповнюють гармонічну структуру між басом та мелодією. Ці партії зазвичай виконуються у середньому регістрі скрипки (струни D та A) та імітують функцію альтової та другої скрипкової секцій в оркестрі. Внутрішні голоси часто складаються з витриманих нот (sustained notes), арпеджіо, або ритмічних остинатних фігур, що створюють рух та енергію у композиції [4].

Для цих партій мікрофон може залишатися у тому ж положенні, або злегка переміщуватися для отримання трохи іншого тембрального забарвлення. Деякі виконавці експериментують з незначними змінами позиції мікрофона для кожного шару, щоб створити більше тембральне розмаїття та імітувати природні відмінності між різними інструментами в оркестрі [19].

Записується зазвичай 4-6 дублів внутрішніх голосів, які потім розподіляються у стереопанорамі для створення широкої та насиченої гармонічної підтримки. Панорамування здійснюється таким чином, щоб імітувати класичне оркестрове розташування: деякі голоси панорамуються ліворуч (20-60% вліво), деякі – праворуч (20-60% вправо), а один або два можуть залишатися у центрі для забезпечення зв'язності [5].

Третій шар: контрмелодії та гармонічні відповіді. Контрмелодійні партії додаються на наступному етапі – це виразні мелодичні лінії, які доповнюють або відповідають головній мелодії, створюючи діалогічну структуру та поліфонічну складність. У "Luminary" ці партії грають критичну роль у створенні динамічного розвитку та емоційної насиченості композиції [20].

Контрмелодії записуються у середньому та верхньому регістрах скрипки, з особливою увагою до виразності фразування та динамічних нюансів. Сання використовує різноманітні штрихи – від легкого стакато до протяжного легато, від делікатного піцкато до драматичного маркато – щоб створити тембральне розмаїття та уникнути монотонності звучання [7]. Для контрмелодій часто використовується більш близьке мікрофонування (0,5-1 метр), що підкреслює деталі артикуляції та надає партіям більшої виразності. Записується зазвичай 2-4 дублі кожної контрмелодії, які потім акуратно панорамуються та балансуються відносно інших елементів аранжування [8].

Четвертий шар: головна мелодія. Головна мелодійна лінія записується після того, як вся гармонічна та контрапунктична структура вже на місці. Це дозволяє виконавцю точно відчувати контекст та зіграти мелодію з максимальною виразністю, свідомо взаємодіючи з уже записаними шарами [21].

Для головної мелодії використовується найбільш близьке мікрофонування (зазвичай 30-60 см від інструмента), щоб захопити всі нюанси вібрато, динамічні зміни та тонкі артикуляційні деталі. Мікрофон часто позиціонується трохи вище інструмента, спрямований на верхню деку між грифом та підставкою, що забезпечує оптимальний баланс між яскравістю та повнотою звучання [11]. Записується 3-5 повних дублів мелодії, з яких потім обирається найкраще виконання, або створюється композитний трек (comping) з найвдаліших фрагментів різних дублів. Ця техніка є стандартною у сучасному продюсуванні та дозволяє досягти технічної досконалості без втрати емоційної спонтанності [1].

П'ятий шар: текстурні та атмосферні елементи. Фінальний етап запису включає додавання текстурних та атмосферних елементів – високих тремоло,

гармонічних флажолетів, pizzicato-акцентів, глісандо та інших колористичних ефектів, які додають композиції глибини та просторовості. Ці елементи, хоча й не є центральними у аранжуванні, відіграють важливу роль у створенні емоційної атмосфери та тембрального багатства [22].

Для атмосферних елементів Санні часто експериментує з нетрадиційними методами звуковидобування – грає за підставкою (*sul ponticello*) для створення хрустального, майже металевого звучання, використовує *col legno* (удари деревком смичка), записує дуже тихі, майже неслухні звуки, які потім посилюються та обробляються ефектами [14].

Ці партії записуються з різними мікрофонними налаштуваннями залежно від бажаного ефекту. Для створення відчуття простору можуть використовуватися мікрофони на більшій відстані (2-3 метри), тоді як для захоплення інтимних деталей – дуже близьке мікрофонування (10-30 см). Записується зазвичай багато різних текстурних елементів, з яких потім обираються найцікавіші для фінального міксу [23].

Після завершення запису всіх шарів починається ретельний процес монтажу та зведення. Кожна партія проходить детальне редагування – корегування тайм- та тональності, видалення шумів та небажаних артефактів, вирівнювання динаміки. Санні використовує Digital Audio Workstation (DAW), ймовірно Ableton Live, Logic Pro або подібну, де кожна партія має свій окремий канал з індивідуальною обробкою [15].

Еквалізація застосовується до кожного шару для створення чіткого частотного розподілу. Басові партії підкреслюються у діапазоні 150-300 Гц, з обрізанням найнижчих частот (*high-pass filter* на 60-80 Гц) для очищення міксу. Внутрішні голоси зосереджуються у діапазоні 400-1500 Гц, з легким зменшенням у діапазоні 800-1000 Гц для уникнення "коробкового" звучання. Мелодійні партії отримують підйом у діапазоні 2-5 кГц для присутності та ясності, з додатковим "повітрям" у діапазоні 8-12 кГц [24].

Компресія застосовується помірно до кожної групи партій – легка компресія (*ratio* 2:1 до 3:1) для контролю динаміки без позбавлення музичності.

Басові партії отримують трохи більшу компресію для створення щільного фундаменту, тоді як мелодійні лінії обробляються максимально делікатно для збереження природної експресії [9].

Просторова обробка є ключовим елементом у створенні ілюзії оркестрового звучання з одного інструмента. Сання використовує різні типи реверберації для різних шарів: басові та внутрішні голоси отримують довгу реверберацію концертного залу (2,5-3 секунди) з низькою яскравістю для створення глибини та об'єму. Контрмелодії обробляються середньою реверберацією (1,5-2 секунди) з більшою присутністю ранніх відображень. Головна мелодія має найкоротшу реверберацію (1-1,5 секунди) з яскравими високими частотами, що виводить її на передній план звукової картини [10].

Додатково використовується техніка стереокорекції та розширення – індивідуальні партії можуть бути злегка розширені за допомогою стерео-імейджінгових плагінів, що створює відчуття простору навколо кожного елемента. Проте це розширення застосовується обережно, щоб не втратити моно-сумісність та не створити фазових проблем [25].

Останній етап роботи над "Luminary" включає мастеринг – фінальну обробку стерео-міксу для досягнення конкурентоспроможної гучності, частотного балансу та динамічного контролю. Застосовується багатосмугова компресія для контролю окремих частотних діапазонів, легка еквалізація для остаточного полірування звучання, та лімітування для досягнення цільової гучності без перенасичення [26]. Важливо відзначити, що Сання, як і багато сучасних незалежних виконавців, орієнтується на звучання, оптимізоване для цифрових платформ та стримінгових сервісів. Це означає дотримання стандартів гучності (зазвичай -14 LUFS для Spotify, -13 до -16 LUFS для YouTube), забезпечення чіткості звучання на різних пристроях відтворення (від смартфонів до Hi-Fi систем), та створення візуально привабливої динамічної форми хвилі без надмірного стискання [27].

Аналіз звукозапису Ліндсі Стірлінг та Джоела Сання виявляє фундаментальні відмінності у підходах до роботи зі струнно-смичковими

інструментами, які відображають різні виробничі реалії, художні цілі та технологічні можливості. Стірлінг представляє високобюджетний підхід з професійною командою звукорежисерів, продюсерів та оркестровими музикантами, що дозволяє створювати справжнє оркестрове звучання з живим виконанням всіх партій. Її записи характеризуються природною акустичною глибиною, органічною взаємодією між музикантами та автентичним тембральним розмаїттям, яке неможливо повністю відтворити через багатосаровий запис одного інструмента[2]. Санні, навпаки, демонструє можливості сучасного домашнього продюсування, де один виконавець з обмеженими ресурсами може створити звучання, яке конкурує з професійними оркестровими записами. Його підхід вимагає виключної технічної майстерності, терпіння та глибокого розуміння цифрових технологій обробки звуку. Хоча результат може не мати абсолютної природності великого оркестру, він пропонує інші переваги – абсолютний контроль над кожним елементом аранжування, можливість необмежених експериментів та ітерацій, та унікальний художній підхід до створення музики [14].

Обидва підходи є валідними та відповідають своїм конкретним контекстам і цілям. Вони демонструють, що сучасний звукозапис струнно-смичкових інструментів є надзвичайно різноманітним полем, де традиційні методи співіснують з інноваційними техніками, а художня візія залишається найважливішим фактором незалежно від використовуваних засобів [1].

Композиція "Luminary" Джоела Санні демонструє модифіковану строфічну форму з елементами варіаційного розвитку. Загальна тривалість твору становить близько 4 хвилин 15 секунд, що дещо перевищує стандартну тривалість комерційної музики, але відповідає форматам кінематографічних композицій [15].

Структура твору може бути представлена як Intro-A-A1-B-A2-Coda. Вступ (Intro, 0:00-0:28) характеризується поступовим накладанням шарів від басової лінії до повної гармонічної структури. Цей розділ виконує експозиційну функцію, встановлюючи тональний центр, темп та основний ритмічний пульс

композиції. Фактура вступу є розрідженою, з чіткою вертикаллю гармонії та мінімальним мелодичним рухом [1].

Перша строфа А (0:28-1:15) представляє головну тему у повній оркестровій текстурі. Мелодична лінія ведеться верхнім голосом скрипок, тоді як середні та нижні голоси створюють багату гармонічну підтримку. Фактура цього розділу є гомофонно-гармонічною з елементами підголоскової поліфонії, де окремі голоси періодично виходять на перший план з контрмелодіями [9].

Варіаційна строфа А¹ (1:15-2:02) повторює тематичний матеріал першої строфи з суттєвими фактурними та тембральними змінами. Головна мелодія збагачується колоратурними пасажами та орнаментикою, гармонія ускладнюється альтерованими акордами, а ритмічна пульсація стає більш дрібною з переходом від чвертних до восьмих та шістнадцятих тривалостей. Динаміка цього розділу досягає *forte*, створюючи першу хвилю емоційного піднесення [11].

Контрастний епізод В (2:02-2:50) являє собою тематично новий матеріал з іншим ритмічним характером та фактурною організацією. Якщо розділи А та А¹ характеризувалися плавним мелодичним рухом та легато артикуляцією, то епізод В використовує синкоповані ритми та *staccato* штрих, що створює відчуття енергії та руху. Гармонічна мова цього розділу є більш модальною з використанням фригійського та еолійського ладів [64].

Друга варіаційна строфа А² (2:50-3:40) об'єднує елементи попередніх розділів, створюючи синтетичну кульмінацію композиції. Тут головна тема з розділу А поєднується з ритмічними елементами епізоду В та колоратурними прикрасами з А¹. Фактура досягає максимальної щільності з залученням усіх 14 записаних шарів скрипки, що створює ефект повного оркестрового *tutti* [5].

Завершальна кода (3:40-4:15) поступово розріджує текстуру, послідовно виключаючи окремі шари до фінального *solò* скрипки на тонічній педалі. Цей прийом створює симетрію з вступом та формує замкнену композиційну структуру. Динамічне затихання від *forte* до *pianissimo* символізує емоційне заспокоєння та завершеність музичної думки [12].

Основна тональність композиції – f-moll (фа мінор), що надає творові глибокого, задумливого характеру. Вибір мінорної тональності відповідає загальній емоційній концепції твору, яка балансує між ліризмом та драматизмом [16]. Фа мінор є зручною тональністю для скрипки завдяки наявності відкритих струн, що можуть використовуватися як педальні тони.

Гармонічна структура вступу базується на тонічній педалі f-moll з поступовим додаванням акордових звуків від квінти (с) до терції (ас) та основного тону (f). Така вертикальна будова гармонії створює відчуття поступового проявлення та кристалізації тонального центру. Гармонічний ритм вступу є повільним – один акорд на два такти, що дозволяє створити медитативну атмосферу [38].

У першій строфі А гармонічна мова збагачується функціональним рухом з чергуванням тоніки (f-moll), субдомінанти (b-moll) та доміанти (C-dur). Проте характерним є використання паралельних мажорних акордів, зокрема As-dur (тоніка мажорна) та Des-dur (субдомінанта мажорна), що створює світлотіньові контрасти та модальне забарвлення [30]. Особливо виразним є використання неаполітанського секстакорду (Ges-dur) у кадансових зворотах, що надає гармонії романтичного характеру.

Варіаційна строфа А1 демонструє хроматичне збагачення гармонії через використання побічних доміант та двоїчних змінених акордів. Послідовність f-moll – g^{o7} – As-dur – B7 – c-moll – C7 – f-moll створює напружений гармонічний рух з множинними тяжіннями та розв'язаннями, що підкреслює драматичний характер цього розділу [26].

Контрастний епізод В модулює у тональність третього ступеня As-dur (ля-бемоль мажор), що створює яскравий світловий ефект та емоційний контраст з мінорними розділами. Гармонічна мова епізоду В є більш діатонічною та опирається на плагальні звороти (IV-I), що є характерним для сучасної кінематографічної музики [27]. Повернення до основної тональності f-moll у розділі А2 здійснюється через енгармонічну модуляцію, де акорд As-dur переосмислюється як III ступінь фа мінору.

Загальна гармонічна концепція композиції поєднує елементи романтичної функціональної гармонії з модальними прийомами та сучасними популярними зворотами. Таке поєднання створює унікальне звучання, що балансує між класичною витонченістю та сучасною доступністю [4].

Головна тема композиції "Luminary" будується на висхідному мелодичному русі від основного тону $f1$ через терцію $as1$ та квінту $c2$ до сексти des^2 . Цей мелодичний контур символізує поступове піднесення та прагнення до світла, що відповідає назві твору (luminary – світило, джерело світла). Ритмічна структура теми базується на комбінації чвертних та восьмих тривалостей з характерним синкопованим патерном, де акцент припадає на слабку долю такту [3].

Мелодична лінія характеризується помірним діапазоном (октава з квартою від $f1$ до $b2$), що робить її співучою та легко запам'ятовуваною. Переважає поступовий секундовий рух з епізодичними стрибками на терції та квартах, що створює плавність та природність мелодичного розвитку [51]. Особливістю є використання пунктирного ритму у кадансових зворотах, що надає темі певної урочистості та значущості.

Побічна тема, що з'являється у варіаційній строфі $A1$, контрастує з головною своїм низхідним мелодичним рухом та більш широким діапазоном (дві октави від $f1$ до $f3$). Якщо головна тема є піднесеною та оптимістичною, то побічна характеризується більшою задумливістю та інтроспективністю. Ритмічна структура побічної теми є більш дрібною з переважанням шістнадцятих тривалостей, що створює відчуття руху та безперервного розвитку [52].

Контрастний епізод B представляє третю тему, яка різко відрізняється від попередніх своїм танцювальним характером та остинатною природою. Ця тема будується на повторенні короткого двотактового мотиву з незначними варіаціями, що створює гіпнотичний ефект та підкреслює ритмічну енергію епізоду. Мелодичний контур теми обмежений діапазоном квінти, проте активне використання хроматичних проходжень надає їй виразності [35].

Важливою особливістю мелодичної будови є використання прийому мотивної роботи – варіантного повторення короткого мелодичного звороту з ритмічними та інтервальними змінами. Цей принцип, запозичений з класичної композиторської техніки, дозволяє створити єдність та цілісність музичної форми при збереженні розмаїття та свіжості звучання [57].

Метрична основа композиції – розмір 6/8, що створює рокитний пульс та асоціюється з рухом, подорожжю чи плином. Темп *Andante espressivo* (чверть з точкою 66-69 BPM) дозволяє розкрити виразність кожного мелодичного звороту та надає композиції ліричного характеру [36]. Складений метр 6/8 передбачає два основних акценти на першій та четвертій восьмих, що створює характерний хитний ритм.

Ритмічна організація вступу базується на довгих витриманих тривалостях (половинні з крапкою, цілі), що створює відчуття статичності та очікування. Поступово ритмічна пульсація стає більш активною з введенням чвертних, а потім восьмих тривалостей, що символізує пробудження та оживлення музичної матерії [1].

У першій строфі А встановлюється основний ритмічний патерн, який поєднує пунктирний ритм у мелодичній лінії з рівномірним рухом восьмих у супроводжуючих голосах. Така ритмічна стратифікація створює багатосаровість та складність фактури при збереженні чіткості метричного пульсу [9]. Характерним прийомом є використання триолей (групування трьох восьмих як однієї чвертної з крапкою), що підкреслює складений характер метру 6/8.

Варіаційна строфа А1 демонструє ритмічну диференціацію, де мелодична лінія збагачується пасажами шістнадцятими, створюючи враження прискорення та інтенсифікації музичного розвитку. При цьому басова лінія зберігає початковий ритмічний патерн чвертними та восьмими, що забезпечує стабільність та опору для віртуозних мелодичних фігурацій [11].

Контрастний епізод В характеризується зміною ритмічної організації з введенням синкопованих акцентів та перехресних ритмів. Тут спостерігається

конфлікт між основним метром 6/8 та ритмічними фігурами, що групуються по 3/4, створюючи поліметричний ефект та підкреслюючи танцювальний характер епізоду [64].

Артикуляція відіграє критичну роль у створенні тембрального розмаїття, що є особливо важливим за умови виконання всіх партій на одному інструменті. У головній темі переважає *legato* з використанням довгого смичка для створення співучої кантилени. Варіаційні розділи використовують *détaché* для чітких артикульованих пасажів, *spiccato* для легких стрибучих фігурацій, та *pizzicato* для ритмічних акцентів. Контрастний епізод В активно використовує *marcato* та акцентовану артикуляцію для підкреслення танцювального характеру [17].

Фактурна організація "Luminary" демонструє складну багат шарову структуру, що імітує звучання повноцінного струнного оркестру через послідовне накладання партій однієї скрипки. Басова лінія (Шар 1, 2-4 дублі) озвучується у нижньому регістрі скрипки (струна G, діапазон G₃-D₄), створюючи гармонічний фундамент композиції. Тембр цього шару є більш приглушеним та м'яким, що імітує характер віолончелей та контрабасів [14].

Внутрішні голоси (Шар 2, 4-6 дублів) займають середній регістр (D₄-A₅) та виконують гармонічну та ритмічну функції. Ці партії створюють гармонічну "подушку" для мелодійних ліній, використовуючи витримані ноти, арпеджіо та остинатні фігурації. Тембрально цей шар імітує альти та другі скрипки, маючи більш насичене та теплоте звучання порівняно з верхніми мелодійними голосами [2].

Контрмелодії (Шар 3, 2-4 дублі) озвучуються у верхньому-середньому регістрі (A₄-E₆) та виконують функцію діалогу з головною мелодією. Ці лінії характеризуються більшою ритмічною свободою та виразністю артикуляції, створюючи поліфонічну складність та багатство музичної тканини. Тембрально контрмелодії мають більш яскраве та проникливе звучання завдяки використанню вищого регістру та більш інтенсивному вібрато [15].

Головна мелодія (Шар 4, 3-5 дублів) займає найвищий регістр (E₅-A₆) та є найбільш виразним елементом фактури. Цей шар використовує найширший

динамічний діапазон від *pianissimo* до *fortissimo* та найбільшу різноманітність артикуляції. Тембр головної мелодії є найбільш яскравим та блискучим завдяки використанню верхніх позицій та активного вібрато [5].

Текстурні елементи (Шар 5, множинні дублі) додають колористичні штрихи та створюють атмосферні ефекти. Використання флажолетів у верхньому регістрі (понад A_6) створює ефірне, потойбічне звучання. Tremolo у середньому регістрі додає драматичної напруги. Pizzicato забезпечує ритмічні акценти та контраст до переважаючого arco звучання. Sul ponticello створює металевий, скляний тембр, що використовується для кульмінаційних моментів [12].

Регістровий розподіл фактури охоплює діапазон близько чотирьох октав від G_3 до A_6 , що є максимально можливим для скрипки. Така широта регістрового простору створює ілюзію звучання повноцінного оркестру з його низькими басами, насиченими середніми голосами та яскравими верхніми лініями. Важливо відзначити, що кожен регістровий шар має власну динамічну та тембральну характеристику, що додає складності та багатства загальному звучанню [64].

Динамічний профіль композиції демонструє хвилеподібний розвиток з трьома основними піками. Перший динамічний підйом відбувається у варіаційній строфі A1 (1:15-2:02), де динаміка поступово зростає від *mezzo-piano* до *forte*. Цей підйом підкреслює збагачення фактури та інтенсифікацію ритмічної пульсації [38].

Контрастний епізод B (2:02-2:50) характеризується динамічним плато на рівні *mezzo-forte* з локальними *crescendo* та *diminuendo*, що підкреслюють фразування та артикуляцію. Відносно стабільна динаміка цього розділу створює контраст з попереднім наростанням та підготовляє слухача до генеральної кульмінації [30].

Друга варіаційна строфа A2 (2:50-3:40) містить найпотужніший динамічний розвиток від *forte* до *fortissimo* з моментом субіто *piano* у середині розділу, що створює драматичний ефект. Генеральна кульмінація досягається у

момент 3:15, де всі 14 шарів звучать у максимальній динаміці та щільності фактури [20].

Завершальна кода (3:40-4:15) демонструє поступове затихання від forte через *diminuendo* до *pianissimo*, створюючи відчуття розчинення та емоційного катарсису. Останні звуки композиції – одинока скрипка на тонічному тоні f2 у динаміці *ppp* – символізують повернення до початкової простоти та спокою [4].

Виразні засоби включають широке використання вібрато різної швидкості та амплітуди. Повільне вібрато (4-5 коливань на секунду) використовується для ліричних мелодій та створює теплоту, співуче звучання. Швидке вібрато (6-8 коливань на секунду) застосовується у віртуозних пасажах та кульмінаційних моментах, додаючи інтенсивності та драматизму [16]. *Glissando* між далекими інтервалами створює виразні портаменто ефекти, що підкреслюють емоційні злами та кульмінації [35].

Порівняльний аналіз композицій "Elements" та "Luminary" виявляє як спільні риси, так і суттєві відмінності у музично-теоретичному аспекті. Обидві композиції належать до жанру кінематографічної музики з використанням струнно-смічкових інструментів як основного тембрального засобу. Проте їхні формально-структурні, тонально-гармонічні та фактурні рішення демонструють різні композиційні підходи [15].

З точки зору форми, "Elements" представляє більш складну багаточастинну структуру з чіткою сонатною логікою (експозиція-розробка-реприза), тоді як "Luminary" базується на модифікованій строфічній формі з варіаційним принципом розвитку. "Elements" характеризується більшою контрастністю розділів та драматичністю розвитку, тоді як "Luminary" демонструє більш органічний, поступовий розвиток з плавними переходами між розділами [9].

Тональні рішення також відрізняються: Es-dur у "Elements" створює тепле, піднесене звучання, характерне для урочистої музики, тоді як f-moll у "Luminary" надає композиції більшій задумливості та інтроспективності. "Elements" активно використовує модуляції у далекі тональності (H-dur),

створюючи яскраві контрасти, тоді як "Luminary" залишається переважно в основній тональності з епізодичною модуляцією у паралельний мажор [27].

Ритмічна організація "Elements" у розмірі 4/4 з темпом *Andante con moto* створює більш урочистий, марширувальний характер, тоді як розмір 6/8 у "Luminary" з темпом *Andante espressivo* надає музиці рокитного, пливучого характеру. "Elements" використовує більш різноманітні ритмічні прийоми, включаючи геміолу та поліритмію, тоді як "Luminary" базується на більш стабільному ритмічному патерні з акцентом на виразність мелодичних ліній [36].

Фактурно-тембральні рішення принципово відрізняються через різний підхід до запису. "Elements" використовує реальне оркестрове звучання з природним тембральним розмаїттям різних інструментів (скрипки, альти, віолончелі, контрабаси), тоді як "Luminary" створює імітацію оркестру через багатосарове накладання однієї скрипки. Це призводить до того, що "Elements" має більшу тембральну різноманітність та природність, тоді як "Luminary" характеризується унікальною тембральною однорідністю та синтетичним характером звучання [3].

Мелодична будова "Elements" є більш віртуозною з широкими стрибками та складними пасажами, що відображає високий технічний рівень Ліндсі Стірлінг як виконавиці. "Luminary" демонструє більш співучі, кантиленні мелодії з помірним діапазоном та поступовим рухом, що робить їх більш доступними для сприйняття [51]. Динамічна драматургія обох творів демонструє подібні принципи з поступовим наростанням до генеральної кульмінації та подальшим затиханням. Проте "Elements" характеризується більш різкими динамічними контрастами та терасоподібними змінами, тоді як "Luminary" має більш плавні динамічні переходи [38].

Загалом, обидві композиції демонструють високий рівень композиторської та виконавської майстерності, проте представляють різні естетичні та технологічні підходи до створення сучасної кінематографічної музики для струнно-смичкових інструментів. "Elements" втілює традиційний підхід з акцентом на автентичність та природність оркестрового звучання, тоді

як "Luminary" демонструє інноваційні можливості сучасних технологій багат шарового запису та цифрової обробки звуку [64].

Висновок до розділу 3

Практичний аналіз методів звукозапису струнно-смичкових інструментів та дослідження конкретних проектів сучасних виконавців дозволяє сформулювати низку важливих висновків щодо сучасного стану та перспектив розвитку цієї галузі звукорежисури.

Звукозапис струнно-смичкових інструментів залишається однією з найскладніших та найбільш нюансованих робіт у сучасному аудіопродюсуванні, що вимагає не лише глибокої технічної компетентності, але й всебічного музичного розуміння, високорозвиненого слухового сприйняття та художньої чутливості. Проведений аналіз підтверджує, що відсутність універсальних рецептів означає необхідність постійної адаптації підходів звукорежисера до конкретних умов кожного проекту – від акустичних характеристик приміщення до художніх намірів композитора та виконавця.

Методологія звукозапису струнних інструментів суттєво відрізняється залежно від численних факторів: типу виконання (сольне, камерне, оркестрове), жанрової специфіки (класична, джазова, естрадна, кінематографічна музика), умов запису (студійні чи концертні) та технологічних можливостей. Кожен з цих факторів визначає вибір мікрофонної техніки, просторової організації запису, методів акустичної обробки та постпродакшн-процесингу. Зокрема, класичний запис тяжіє до мінімалістичного підходу з акцентом на природну акустику приміщення, тоді як комерційне продюсування використовує більш агресивне мікрофонування та обширну пост-обробку для досягнення конкурентоспроможного звучання на сучасних цифрових платформах.

Вибір мікрофонної техніки є одним з найкритичніших рішень у процесі звукозапису струнних інструментів. Конденсаторні мікрофони великого діаметра залишаються золотим стандартом для студійного запису завдяки їхній здатності точно передавати широкий частотний діапазон та тонкі динамічні

нюанси. Стрічкові мікрофони цінуються за їхнє м'яке, природне звучання, особливо при записі скрипки, де вони допомагають приглушити надмірну яскравість верхніх частот. Стереотехніки ORTF, X/Y, Блюмляйна та Decca Tree пропонують різні підходи до створення просторової картини, кожна з власними перевагами у специфічних акустичних умовах.

Акустична обробка приміщення відіграє фундаментальну роль у формуванні кінцевого звучання запису. Для струнних інструментів оптимальним є простір з контрольованою, але не надто "мертвою" акустиккою, що дозволяє інструментам "дихати" та розвивати природний тембр без додавання надмірної реверберації чи небажаних резонансів. Час реверберації від 1,5 до 2,5 секунд для камерної музики та дещо довший для оркестрових записів забезпечує оптимальний баланс між чіткістю та просторовістю звучання.

Аналіз конкретних проєктів Ліндсі Стірлінг та Джоела Санні демонструє два радикально різних, але однаково валідних підходи до звукозапису струнних інструментів у сучасному контексті. Стірлінг представляє високобюджетну модель продюсування з професійною командою та повноцінним оркестром, що дозволяє досягти автентичного, природного звучання з органічною взаємодією між музикантами. Її метод підкреслює важливість колективного виконання та природної акустичної глибини, яка формується спонтанно під час спільної гри професійних музикантів.

Підхід Джоела Санні ілюструє революційні можливості сучасного цифрового продюсування, де один виконавець у домашній студії може створити звучання повноцінної струнної секції через послідовний багат шаровий запис. Його метод вимагає виключної технічної досконалості, терпіння та глибокого розуміння цифрових інструментів обробки звуку, проте відкриває безпрецедентні можливості для художнього експериментування та абсолютного контролю над кожним елементом аранжування. Цей підхід демократизує доступ до якісного оркестрового продюсування, роблячи його доступним для незалежних артистів з обмеженими фінансовими ресурсами.

Обидва проаналізовані підходи демонструють критичну важливість частотного балансування та просторової обробки у створенні професійного звучання. Ретельна еквалізація, що створює чіткі частотні ніші для кожного елемента міксу, запобігає частотним конфліктам та забезпечує прозорість звучання навіть у найщільніших текстурах. Диференційована реверберація для різних елементів – коротша для сольних партій та довша для оркестрових секцій – створює відчуття глибини та тривимірності звукової картини. Динамічна обробка у записі струнних інструментів має застосовуватися з максимальною обережністю та музичною доречністю. Надмірна компресія може зруйнувати природну експресивність виконання та перетворити органічне звучання на штучний, безжиттєвий звук. Помірне використання компресії для контролю піків при збереженні широкого динамічного діапазону є оптимальним підходом, особливо для класичної та камерної музики.

Сучасні технології цифрового аудіо значно розширили можливості звукозапису та пост-продакшну струнних інструментів, проте не скасували фундаментальних принципів якісного запису. Технології штучного інтелекту, immersive audio формати (Dolby Atmos, spatial audio), віртуальні інструменти надвисокої якості відкривають нові творчі горизонти, але базові навички – розуміння акустики, вміння правильно позиціонувати мікрофони, критичне слухове сприйняття – залишаються незамінними для будь-якого звукорежисера. Жанрова специфіка суттєво впливає на методологію звукозапису струнних інструментів. Класична музика вимагає максимально природного звучання з мінімальною обробкою, джазові записи схиляються до більш близького мікрофонування та "сухого" звуку, поп-музика використовує агресивну еквалізацію та компресію для інтеграції струнних у щільний мікс, а кінематографічне продюсування прагне до епічного, масштабного звучання з широкою стереобазою та драматичною динамікою. Розуміння цих жанрових конвенцій є критично важливим для успішної роботи звукорежисера.

Баланс між технічною досконалістю та художньою виразністю залишається центральним викликом у звукозапису струнних інструментів.

Технічно бездоганний запис, позбавлений емоційної глибини та музичної спонтанності, має обмежену художню цінність. І навпаки, емоційно насичене, але технічно недосконале виконання може втратити свій вплив через погане звучання. Найкращі записи досягають делікатного балансу, де технічна майстерність слугує інструментом для максимально повного вираження художнього змісту. Майбутнє звукозапису струнно-смічкових інструментів лежить у синтезі традиційних підходів та інноваційних технологій. Класичні методи, засновані на глибокому розумінні акустики та природного звучання, залишаються фундаментом професійної практики. Водночас, нові технології – від штучного інтелекту для автоматичного очищення записів до immersive audio форматів для створення тривимірної звукової сцени – відкривають безпрецедентні можливості для творчого експериментування та художнього вираження.

Проведений практичний аналіз підтверджує тезу про те, що сучасний звукозапис струнно-смічкових інструментів є надзвичайно різноманітним та динамічним полем, де співіснують множинні підходи, методології та естетичні парадигми. Не існує єдиного "правильного" способу записувати струнні інструменти – кожен проект вимагає індивідуального підходу, що враховує специфічні художні цілі, технічні можливості, акустичні умови та жанрові конвенції. Звукорежисер повинен володіти широким арсеналом технічних навичок та теоретичних знань, але водночас залишатися відкритим до експериментування, творчого ризику та пошуку нових виразних засобів. Саме це поєднання професіоналізму та креативності, технічної майстерності та художньої інтуїції визначає якість та художню цінність сучасного звукозапису струнно-смічкових інструментів.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження в даній кваліфікаційній роботі були виконані всі поставлені завдання в повному обсязі, через що можна сформулювати наступні висновки:

1. Дослідження історичного розвитку технологій звукозапису виявило, що кожен суттєвий етап технологічного прогресу – від механічного запису до цифрової ери – не лише збагачував методи фіксації звучання струнних інструментів, а й надавав їм нових технічних і естетичних можливостей. Перші механічні системи звукозапису демонстрували обмежений частотний діапазон і динамічну амплітуду, що ускладнювало точну передачу тембральних нюансів скрипки, альти, віолончелі та контрабаса. Впровадження електричного запису, магнітної стрічки та багатоканальних технологій суттєво розширило можливості звукорежисера, дозволяючи зберігати природну виразність та динамічний діапазон струнно-смичкових інструментів. Подальший перехід до цифрових технологій – від перших РСМ-систем до сучасних DAW та плагінів високої роздільної здатності – створив підґрунтя для безпрецедентної точності запису, гнучкості обробки та можливості нелінійного редагування без втрати якості вихідного матеріалу.

2. Аналіз фізики звуковидобування продемонстрував, що звук струнно-смичкових інструментів виникає як результат складної взаємодії натягу струни, смичка, конструкції корпусу та резонансних характеристик деки й повітряного об'єму всередині інструмента. Кожна деталь – від матеріалу струн і деревини до сили натиску та швидкості руху смичка – впливає на амплітуду коливань, спектр обертонів, тембр, динаміку й атаку тону. Виконавець, використовуючи різні точки прикладання смичка (*sul ponticello*, *sul tasto*, *ordinario*), регулюючи швидкість ведення та натяг волосу, може цілеспрямовано змінювати спектральний склад звуку та акустичні характеристики інструмента. Розуміння цих принципів є критично важливим для звукорежисера: гра *sul ponticello* може містити надлишок яскравих гармонік, що вимагає коригування мікрофонної

техніки або еквалізації, тоді як *sul tasto* потребує більш чутливого обладнання для збереження насиченості тембру в середньому діапазоні. Взаємодія лівої та правої руки виконавця, що формує як інтонаційну точність, так і багатство гармонік, безпосередньо визначає якість і виразність записаного матеріалу.

3. Вибір технічного обладнання є багатограним процесом, що вимагає глибокого розуміння акустичних особливостей інструментів та їхньої взаємодії з акустичним середовищем. Конденсаторні мікрофони, завдяки високій чутливості та широкому частотному діапазону, залишаються стандартом для класичного запису, забезпечуючи точну передачу тембральних нюансів і динамічної виразності. Стрічкові мікрофони знаходять застосування при записі скрипки, де їхнє м'яке, природне звучання допомагає приглушити надмірну яскравість верхніх частот. Динамічні мікрофони використовуються в специфічних жанрах, забезпечуючи стійкість до високого звукового тиску. Вибір характеристики спрямованості – омнідирекційної, кардіоїдної, гіперкардіоїдної чи вісімкоподібної – визначає баланс між прямим звуком інструмента та акустиккою приміщення. Стереофонічні техніки (XY, ORTF, Blumlein, AB, Decca Tree, MS) надають звукорежисеру широкий спектр інструментів для формування стереообразу відповідно до художніх і технічних вимог. Багатомікрофонні налаштування, що поєднують основні стереопари, акцентні мікрофони та мікрофони простору, забезпечують максимальну гнучкість у пост-продакшні, але вимагають ретельного контролю фазових співвідношень. Позиціонування мікрофонів, що враховує особливості звуковипромінювання кожного інструмента, відіграє вирішальну роль у досягненні оптимального балансу між деталізацією, природністю та просторовістю.

4. Розглянуто методи обробки звуку, включаючи еквалізацію, компресію та просторові ефекти. Сучасні технології цифрової обробки, реалізовані через DAW і програмні плагіни, значно розширюють можливості звукорежисера в удосконаленні записаного матеріалу. Еквалізація дозволяє точно коригувати частотний баланс, підкреслюючи характерні тембральні

особливості інструментів: для скрипки – акцент на високих обертонах і чіткості артикуляції, для альту – на теплоті й м'якості тембру, для віолончелі – на балансі між басовим резонансом і виразністю середніх частот, для контрабаса – на потужності низьких частот і визначеності тону. Динамічна обробка, включаючи компресію, лімітування, експандери та гейти, забезпечує контроль над динамічним діапазоном, що є особливо важливим для струнних інструментів із їхньою широкою динамічною амплітудою. Проте динамічна обробка має застосовуватися з максимальною обережністю та музичною доречністю – надмірна компресія може зруйнувати природну експресивність виконання. Просторова обробка, зокрема конволюційна та алгоритмічна реверберація, дозволяє створювати природний акустичний простір відповідно до жанру та естетичних цілей. Диференційована реверберація для різних елементів – коротша для сольних партій та довша для оркестрових секцій – створює відчуття глибини та тривимірності. Цифрова реставрація звуку, що включає шумоподавлення, деклікінг та спектральну репарацію, відіграє ключову роль у підвищенні якості записів. Ключовим принципом залишається делікатність обробки, спрямована на збереження природної виразності та тембрального багатства.

5. Проведено практичний аналіз на матеріалі двох вибраних музичних творів – "Elements" Ліндсі Стірлінг та "Luminary" Джоела Санні. Аналіз цих творів підтвердив теоретичні положення дослідження та дозволив виробити конкретні рекомендації щодо звукозапису струнно-смичкових інструментів у сучасних жанрах. Розгляд записів продемонстрував критичну важливість попередньої підготовки – від вибору акустичних умов (студійний зал з природною реверберацією для "Luminary" чи гібридний сетап з loop pedal для "Elements") до налаштування мікрофонування та комунікації з виконавцем для передачі нюансів вібрато та атаки. Експериментування з різними техніками (близьке стереомікрофонування з цифровими ефектами в "Elements" проти overhead і spot-miking в "Luminary") виявило, що не існує універсального підходу: вибір методу залежить від музичного контексту, акустичних умов,

характеристик конкретного інструмента та художніх цілей проєкту. Аналіз творів підтвердив важливість балансу між технічною досконалістю та художньою виразністю – технічно бездоганний запис, позбавлений емоційної глибини, має обмежену художню цінність, тоді як емоційно насичена партія струнних може втратити вплив через погане звучання. Робота з матеріалом цих творів також виявила необхідність постійного розвитку критичного слухового сприйняття та здатності до швидкого прийняття рішень в умовах студійного запису.

6. Визначено специфіку звукозапису скрипки в різних музичних контекстах і акустичних умовах. Скрипка як найвищий за регістром струнно-смичковий інструмент має унікальні акустичні характеристики, що вимагають особливого підходу до звукозапису. Жанрова специфіка суттєво впливає на методологію: класична музика вимагає максимально природного звучання з мінімальною обробкою та акцентом на природну акустику приміщення; джазові записи схильються до більш близького мікрофонування та "сухого" звуку з контрольованою реверберацією; поп-музика використовує агресивну еквалізацію, компресію та багат шарове накладання для інтеграції скрипки у щільний мікс; кінематографічне продюсування прагне до епічного, масштабного звучання з широкою стереобазою та драматичною динамікою. Акустичні умови також критично важливі: студійний запис дозволяє максимальний контроль над звуком, концертний запис вимагає врахування акустики залу та шумів аудиторії, домашня студія потребує ретельної акустичної обробки для компенсації недоліків простору. Для скрипки особливо важливим є контроль яскравих високих частот, які можуть ставати надто різкими при неправильному мікрофонуванні чи обробці. Оптимальним підходом є поєднання конденсаторного мікрофона для деталізації з стрічковим для м'якості, або ретельна еквалізація для зменшення надмірної яскравості в діапазоні 3-5 кГц при збереженні повітряності у верхньому діапазоні.

Узагальнюючи результати дослідження, можна стверджувати, що сучасний звукозапис струнно-смичкових інструментів є складним, багатогранним процесом, що вимагає синтезу глибоких теоретичних знань, технічної майстерності та художньої чутливості. Успішний запис базується на розумінні фізико-акустичних принципів звуковидобування, володінні сучасними технологіями та обладнанням, а також на здатності адаптувати підходи до специфічних умов кожного проєкту. Майбутнє галузі лежить у гармонійному поєднанні традиційних методів, заснованих на глибокому розумінні акустики, та інноваційних технологій – від штучного інтелекту до immersive audio форматів, що відкривають нові можливості для творчого експериментування та художнього вираження. Отримані знання та практичні рекомендації можуть бути використані звукорежисерами для вдосконалення професійної практики, а також як основа для подальших досліджень у сфері звукорежисури та музичної акустики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барановський Є. Ю., Смірнов О. В. Основи звукорежисури: навчальний посібник. Київ: КНУКіМ, 2019.
2. Безручко О. (голов. ред.). Вісник КНУКіМ. Серія «Мистецтвознавство». № 48. Київ : КНУКіМ, 2023.
3. Белявіна Н. Д. Інструментознавство : навчальний посібник. Ч. 1. Київ : НАКККіМ, 2002.
4. Белявіна Н. Д. (ред.). Історія звукорежисури : навч. посіб. Київ : НАКККіМ, 2011.
5. Душко І. Робота звукорежисера в записі академічних творів : магнітна стрічка та монтаж : кваліф. робота. Київ : НАКККіМ, 2023.
6. Журнал «Українська культура: минуле, сучасне, шляхи розвитку». Вип. 18. 2012.
7. Збірник тез : сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання : AI в музиці. Тернопіль : ТНПУ, 2025.
8. Історія Нойманна: перший конденсаторний мікрофон CMV 3 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://proshow.com.ua/uk/instrumentalni-mikrofoni/neumann-km-184-a-nx-kondensatornij-mikrofon.html>
9. Коваленко Н. А. Сучасні DAW-системи: порівняльний аналіз функціональних можливостей. Наукові записки ТНПУ. Серія: Мистецтвознавство. 2022. № 1 (46).
10. Копиця М. Д. Епістологічні документи історії української музики : методологія, теорія, практика : дис. ... д-ра мистецтвознав. Київ, 2020.
11. Медведєв Д. О. Цифрові технології обробки звуку в сучасному музичному виробництві. Мистецтвознавчі записки. 2020. Вип. 37.
12. Печерський О. В., Романенко В. П. Основи звукотехніки / Р. 4 «Звукообробна апаратура».
13. Приходько О. В. Еволюція технологій звукозапису: від аналогу до цифри. Вісник КНУКіМ. Серія: Мистецтвознавство. 2021. Вип. 44.

14. Румшинський М. З. Акустика приміщень і електроакустична апаратура : підручник. Київ : НАКККіМ, 2015.
15. Скрипник Г. (голов. ред.). Українська музична енциклопедія. Т. 4 : Н–О. Київ : ІМФЕ НАН України, 2016.
16. Стеценко В. К. Методика навчання гри на скрипці. Р. 2 «Звуковидобування».
17. Тимошенко О. І. Акустичні особливості запису струнно-смичкових інструментів. Культура і сучасність. 2018. № 2.
18. Фількевич Л. Всесвітня історія музики : навч. посіб. Київ : КНУТКТ, 2020.
19. Ableton AG. Ableton Live Manual. Version 12. Berlin: Ableton AG, 2024. URL: <https://www.ableton.com/en/manual/welcome-to-live/> (дата звернення: 29.10.2024).
20. AES (Audio Engineering Society). Standards for Studio Monitoring and Recording [Електронний ресурс]. 2024. Режим доступу: <https://www.aes.org>
21. AKG Acoustics. Studio Recording: Microphone Positioning Guide [Електронний ресурс]. 2024. Режим доступу: <https://www.akg.com>
22. Apple Inc. Logic Pro User Guide for Mac. Version 11. Cupertino: Apple Inc., 2024. URL: <https://support.apple.com/guide/logicpro> (дата звернення: 29.10.2024).
23. Audio Ease. Altiverb User Guide. Version 8. Hilversum: Audio Ease, 2023. URL: <https://www.audioease.com/altiverb/> (дата звернення: 29.10.2024).
24. Audio-Technica. Microphone Polar Patterns Explained: Educational Resource [Електронний ресурс]. 2024. Режим доступу: <https://www.audio-technica.com>
25. Audio-Technica. Microphone Techniques for Recording Strings [Електронний ресурс] / Audio-Technica. – Режим доступу: <https://www.audio-technica.com/en-us/learn/audio-solutions/microphone-techniques-for-recording-strings/> – Назва з екрана.
26. Avid Technology. Pro Tools Reference Guide. Version 2024.10. Burlington: Avid Technology, 2024. URL: <https://www.avid.com/resource-center/pro-tools-documentation> (дата звернення: 29.10.2024).

27. Bartlett, B., Bartlett, J. Practical Recording Techniques: The Step-by-Step Approach to Professional Audio Recording. 6th ed. Focal Press, 2012.
28. Bartlett, B., Bartlett, J. Practical Recording Techniques: The Step-by-Step Approach to Professional Audio Recording. 7th ed. Focal Press, 2017.
29. DPA Microphones. Recording String Instruments: Technical Guide [Электронный ресурс]. 2024. Режим доступа: <https://www.dpamicrophones.com>
30. Eargle, J. The Microphone Book. 2nd ed. Focal Press, 2004.
31. Eargle, J. The Microphone Book: From Mono to Stereo to Surround – A Guide to Microphone Design and Application. 3rd ed. Focal Press, 2012.
32. FabFilter. Pro-Q 3 User Manual. Amsterdam: FabFilter, 2023. URL: <https://www.fabfilter.com/products/pro-q-3-equalizer-plugin-in> (дата звернення: 29.10.2024).
33. Gibson D. The Art of Mixing: A Visual Guide to Recording, Engineering, and Production. 2nd ed. Boston: Course Technology, 2005.
34. Goddard L., March B. Studio One Pro 7 - Everything You Need To Know. Production Expert. June 3, 2025. URL: <https://www.production-expert.com/production-expert-1/studio-one-pro-7-everything-you-need-to-know> (дата звернення: 30.10.2024).
35. Huber, D. M., Runstein, R. E. Modern Recording Techniques. 9th ed. Routledge, 2017.
36. Hurk M. PreSonus introduces Studio One Pro 7 DAW software. Gearjunkies. October 9, 2024. URL: <https://www.gearjunkies.com/2024/10/presonus-introduces-studio-one-pro-7-daw-software/> (дата звернення: 29.10.2024).
37. iZotope. Neutron 4 User Guide. Cambridge: iZotope, 2023. URL: <https://www.izotope.com/en/products/neutron.html> (дата звернення: 29.10.2024).
38. iZotope. The Art of Digital Audio Restoration [Электронный ресурс]. 2023. Режим доступа: <https://www.izotope.com/en/learn/audio-restoration.html>
39. James E. Studio One Pro 7: 9 New Features You Need to Know. Splice Blog. October 15, 2024. URL: <https://splice.com/blog/top-features-presonus-studio-one/> (дата звернення: 30.10.2024).

40. Katz, B. *Mastering Audio: The Art and the Science*. 3rd ed. Focal Press, 2014.
41. Magnetophon / Wikipedia [Електронний ресурс]. 2023. Режим доступу: <https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetophon>
42. Neumann. Мікрофонні системи для студійного запису: технічна документація [Електронний ресурс]. 2024. Режим доступу: <https://www.neumann.com>
43. Owsinski, B. *The Mixing Engineer's Handbook*. 4th ed. Bobby Owsinski Media Group, 2017.
44. Owsinski, B. *The Recording Engineer's Handbook*. 4th ed. Hal Leonard Books, 2017.
45. PreSonus Audio Electronics. PreSonus introduces "The DAW for All" Studio One Pro 7 with all-new, innovative production tools. Press Release. October 9, 2024. URL: <https://www.prnewswire.com/news-releases/presonus-introduces-the-daw-for-all-studio-one-pro-7-with-all-new-innovative-production-tools-302270757.html> (дата звернення: 30.10.2024).
46. PreSonus Audio Electronics. *Studio One Pro 7 Features*. Baton Rouge: PreSonus, 2024. URL: <https://legacy.presonus.com/products/Studio-One/features> (дата звернення: 30.10.2024).
47. Royer Labs. *Ribbon Microphone Techniques: User Guide* [Електронний ресурс]. 2023. Режим доступу: <https://www.royerlabs.com>
48. Schoeps. *Stereo Recording Techniques: Application Guide* [Електронний ресурс]. 2023. Режим доступу: <https://www.schoeps.de>
49. Senior M. *Mixing Secrets for the Small Studio*. 2nd ed. New York: Routledge, 2018.
50. Shure. *Microphone Techniques for Recording: Educational Guide* [Електронний ресурс]. 2023. Режим доступу: <https://www.shure.com>
51. Sound on Sound. *Mixing Strings: Creating Space and Depth* [Електронний ресурс]. 2020. Режим доступу: <https://www.soundonsound.com/techniques/mixing-strings>

52. Soundtoys. EchoBoy User Guide. Burlington: Soundtoys, 2022. URL: <https://www.soundtoys.com/product/echoboy/> (дата звернення: 29.10.2024).
53. Sweetwater. The Ultimate Guide to Recording Orchestral Instruments [Електронний ресурс]. 2023. Режим доступу: <https://www.sweetwater.com>
54. The First Innovation to Record Sound: історія виникнення студій звукозапису / ResearchGate [Електронний ресурс]. 2021. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/353433228_The_First_Innovation_to_Record_Sound
55. The Stroh Violin Played a Role in Early Music Recording / Strings Magazine [Електронний ресурс]. 2022. Режим доступу: <https://stringsmagazine.com/the-stroh-violin-played-a-role-in-early-music-recording-and-are-still-in-use-today>
56. Toft, T. Recording Classical Music. Routledge, 2016.
57. Valhalla DSP. Reverb Explained: A Guide to Convolution and Algorithmic Reverbs [Електронний ресурс]. 2022. Режим доступу: <https://valhalladsp.com/reverb-explained/>
58. Valhalla DSP. Valhalla Room User Manual. Version 2. Seattle: Valhalla DSP, 2022. URL: <https://valhalladsp.com/shop/reverb/valhalla-room/> (дата звернення: 29.10.2024).
59. Waves Audio. The Ultimate Guide to Stereo Imaging [Електронний ресурс]. 2021. Режим доступу: <https://www.waves.com/ultimate-guide-to-stereo-imaging>
60. White P. Creative Recording 2: Microphones, Acoustics, Soundproofing and Monitoring. 2nd ed. London: Sanctuary Publishing, 2018.

ДОДАТКИ

Додаток 1

Рис. 1. Скріншот з відеокліпу Ліндсі Стірлінг «Elements»

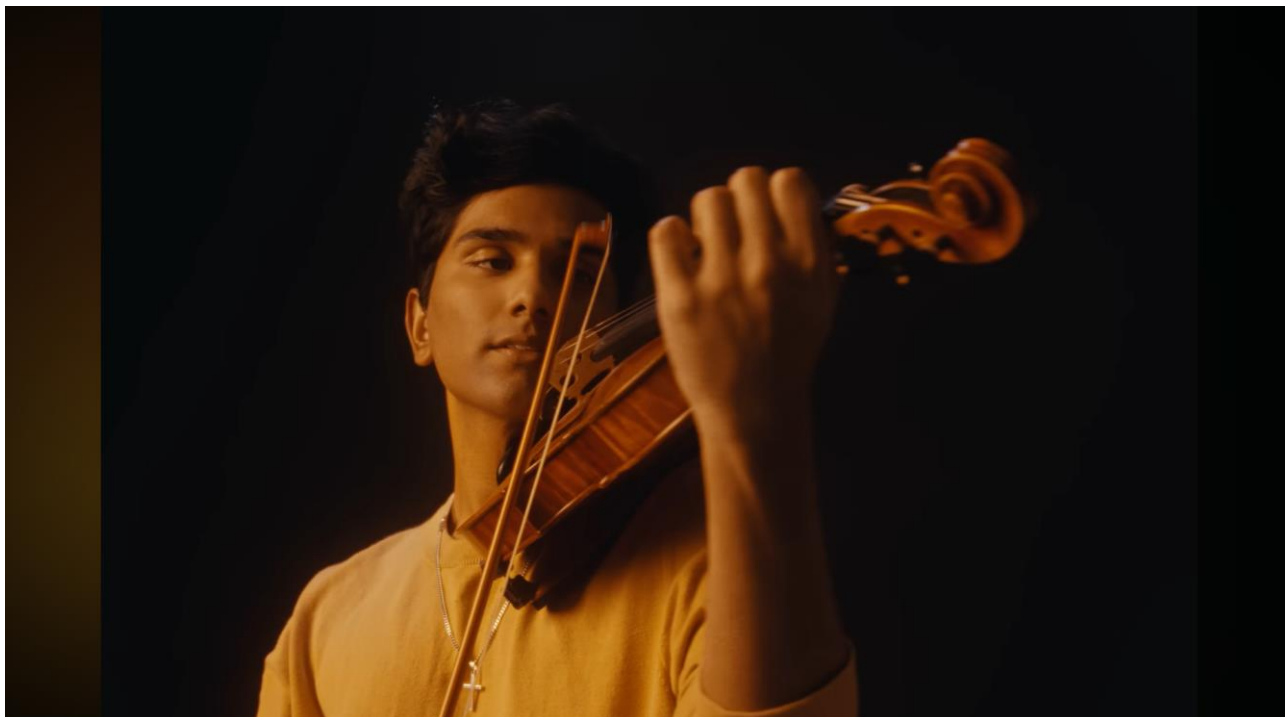


Рис. 2. Скріншот з відеокліпу Джоел Санні «Luminary»

Luminary

Composed by: Joel Sunny
Arranged by: Solomon David

The image displays a musical score for the violin part of the piece 'Luminary'. The score is written in treble clef, with a key signature of three sharps (F#, C#, G#) and a 4/4 time signature. The music is divided into ten staves, each beginning with a measure number: 1, 9, 16, 23, 30, 36, 42, 50, 59, and 65. The notation includes various rhythmic values, slurs, and fingerings (indicated by numbers 1-4). There are also some accidentals, such as a flat sign in measure 50. The piece concludes with a final measure on the tenth staff.

Рис. 3. Скрипкова партія «Luminary»

Elements

Lindsey Stirling, Marko Glogolja
arranged for flute by Dennis Benning

$\text{♩} = 140$ *Mysterioso*

2 *mf* *p* 10

17 *pasionato y sostenuto*
mf *mp* *mf* *mp*

23 *mf* *mp* *f*

29 *p*

35 *cantabile* *intensificando*
mf *mp* *mf*

42 *energico!* *f*

46

50 *cantabile y sostenuto*
mf *mp* *mf* *mp* *f*

Copyright © 2012 Lindseystomp Music, LLC and Brickhouse LA
This arrangement Copyright © 2019 Lindseystomp Music, LLC
and Brickhouse LA All Rights Reserved Used by Permission

Рис. 4. Скрипкова партія «Elements»

56 *To Coda* *gentilmente*
p mf

61 *intensificando*
mp mf

66 *cantabile*

71

74 *intenso*

77 *f*

81 *mf < mp mf* *mp < mf*

87

91 *f* *mf* V.S.

The image shows a page of a musical score for a violin part titled "Elements". The score is written in treble clef and consists of nine staves of music. The first staff (measures 56-60) begins with a "To Coda" symbol and the instruction "gentilmente". The dynamics are marked "p" (piano) and "mf" (mezzo-forte). The second staff (measures 61-65) is marked "intensificando" and has dynamics "mp" and "mf". The third staff (measures 66-70) is marked "cantabile". The fourth staff (measures 71-73) contains some rests and fingerings. The fifth staff (measures 74-76) is marked "intenso". The sixth staff (measures 77-80) is marked "f" (forte). The seventh staff (measures 81-86) shows dynamic markings "mf < mp mf" and "mp < mf". The eighth staff (measures 87-90) contains dense sixteenth-note passages. The ninth staff (measures 91-94) is marked "f" and "mf", and ends with "V.S." (Vincenzo Scarlatti).

Рис. 5. Скрипкова партія «Elements»

4

95

97 *cantabile* Φ **3** *D.S. al Coda*
p

103 *Coda*

107

109 **2**

The image displays a musical score for a violin part, consisting of five staves of music. The first staff (measures 95-96) features a melodic line with slurs and accents. The second staff (measures 97-98) is marked *cantabile* and *p* (piano), with a fermata and a triplet of notes. The third staff (measures 99-102) is marked *Coda* and contains a complex melodic passage with slurs and accents. The fourth staff (measures 103-106) continues the melodic line. The fifth staff (measures 107-109) concludes with a double bar line and a final measure marked with a '2'.

Рис. 6. Скрипкова партія «Elements»

1. Відео-кліп Ліндсі Стірлінг «Elements» -
https://www.youtube.com/watch?v=bqtKpLUd3Ng&list=RDbqtKpLUd3Ng&start_radio=1

2. Відео-кліп Джоел Санні «Luminary» -
https://www.youtube.com/watch?v=ZY1f7E_2iFA&list=RDZY1f7E_2iFA&start_radio=1