

Факультет оркестрових інструментів
Кафедра духових та ударних інструментів

НАЗВА ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ:
«Особливості акустичної обробки звуку духових інструментів засобами
сучасних цифрових пристроїв»

Виконав: студент IV курсу
денної форми навчання
профілізації «Фагот»
спеціальності 025 «Музичне мистецтво»
ступеня вищої освіти «Бакалавр»
Карпин Іван Ярославович

Науковий керівник –
Баклаженко Олександр Павлович
старший викладач
кафедри оркестрових духових
інструментів

Рецензент –
Корчинський Юрій Володимирович
Професор кафедри
Духових та ударних інструментів

Львів – 2025

Зміст

Вступ.....	3
Мета та завдання дослідження.....	4
1 Теоретична частина.....	6
1.1 Класифікація духових інструментів	6
1.2 Акустичні проблеми при записі	9
2. Аналітична частина: Цифрова обробка	13
2.1 Типові підходи	13
2.2 Розробка шаблонів обробки в Reaper	21
Висновки	32
Список використаних джерел	38

Вступ

Сучасні тенденції у звукорежисурі демонструють постійне зростання ролі цифрових технологій в обробці звуку акустичних інструментів. Духові інструменти широко застосовуються як у традиційних академічних жанрах, так і в поєднанні з електронною музикою, утворюючи нові «гібридні» стилі. Зокрема, відзначено унікальний виразний потенціал духових, який дозволяє їм органічно поєднуватися з електрозвуками – особливо це стосується мідних духових та флейт. [Lefebvre, с. 69]

Разом із тим, збереження характерного тембру і динаміки духових інструментів під час цифрової обробки є важливим завданням. Акустичні властивості музичних інструментів являють собою одну з найважливіших і найцікавіших сфер сучасної акустики, [Tronchin, с.1] тому дослідження методів їх цифрової обробки є актуальним як з наукової, так і з практичної точки зору. Ця робота спрямована на вдосконалення підходів до обробки звуку духових інструментів, що забезпечить якісне і природне їх звучання в записі та міксі.

Мета та завдання дослідження.

Метою роботи є аналіз особливостей акустичної обробки звучання духових інструментів із використанням сучасних цифрових пристроїв та розробка практичних рекомендацій для забезпечення якісного звучання. Для досягнення поставленої мети передбачено виконання таких завдань:

- 1) Вивчити класифікацію духових інструментів та їх акустичні характеристики (спектральні, динамічні, напрямні тощо).
- 2) Виявити типові акустичні проблеми, що виникають при записі духових інструментів, та дослідити методи їх мінімізації (зокрема, оптимальне розміщення мікрофонів).
- 3) Дослідити сучасні підходи цифрової обробки звуку духових інструментів (еквалізація, компресія, реверберація, стереопозиціонування, шумозаглушення тощо) для покращення якості та виразності звучання.
- 4) Проаналізувати вплив застосованих процесорів обробки на сприйняття тембру, динаміки та просторовості звучання духових інструментів слухачем.
- 5) Розробити та експериментально випробувати шаблони налаштувань обробки для основних представників духових інструментів у програмному середовищі Reaper (FX Chains), з урахуванням особливостей кожного інструмента.
- 6) Здійснити спектральний аналіз сигналів духових інструментів до і після обробки, узагальнити отримані результати у вигляді таблиць та сформулювати практичні рекомендації для звукорежисерів.

Об'єктом дослідження є акустичний сигнал духових музичних інструментів та процес його перетворення при записі і відтворенні. Предметом дослідження виступають методи і засоби цифрової акустичної обробки звуку духових інструментів – зокрема, еквалізація, динамічна обробка, реверберація та інші

ефекти, що застосовуються для покращення якості та художньої виразності звучання.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети використано комплекс методів. Застосовано спектральний аналіз аудіосигналів духових інструментів (аналіз темброво-акустичних параметрів звукоутворення) [Палій, с. 10], що дозволило оцінити частотні характеристики та гармонійний склад до і після обробки. Порівняльний аналіз використовувався для зіставлення отриманих спектрів та динамічних показників необроблених і оброблених сигналів. Крім того, застосовано метод практичного моделювання: створено експериментальні налаштування обробки (ланцюжки ефектів) у цифровій аудіостанції Reaper з подальшим їх апробуванням. Допоміжно використовувалися методи аналізу літературних джерел з акустики музичних інструментів та звукорежисури, а також емпіричні методи прослуховування для суб'єктивної оцінки якості звучання.

1 Теоретична частина

1.1 Класифікація духових інструментів

Поділ на дерев'яні та мідні. У симфонічному оркестрі духові музичні інструменти (аерофони) традиційно поділяють на дві основні групи – дерев'яні духові та мідні духові. Така класифікація ґрунтується не стільки на матеріалі виготовлення, скільки на способі звукоутворення. У духових інструментах джерелом звуку є коливання повітряного стовпа в резонаторі, енергія для якого генерується від потоку стисненого повітря з легень музиканта (або з мехів, як у випадку органу). Залежно від способу модуляції цього повітряного потоку духові поділяють на три підгрупи: лабіальні, язичкові (тростинні) та мундштучні. Лабіальні інструменти (air reed) створюють звук за допомогою повітряної струмини, розсіченої об край свисткового отвору – до них належать флейти (поздовжні, поперечні) і подібні інструменти. Язичкові інструменти (mechanical reed) генерують коливання за допомогою тростини (еластичної пластинки): до них належать інструменти з одинарною тростиною (наприклад, кларнет, саксофон, язичкові регістри органу) та з подвійною тростиною (гобой, фагот) – попри те, що багато хто з них виготовляється з металу, всі вони традиційно належать до групи «дерев'яних» духових. Натомість мундштучні (амбушурні) інструменти мають мундштук чашоподібної форми; звукоутворення в них відбувається через вібрацію губ виконавця, що слугують «живою тростиною» – ця група охоплює труби, валторни, тромбони, туби та інші мідні духові [Войтович, с. 39]. Таким чином, до дерев'яних духових відносять всі флейтові та тростинні інструменти, а до мідних – всі амбушурні (незалежно від фактичного матеріалу корпусу).

Включення саксофона як гібридного випадку. Саксофон посідає особливе місце, адже конструктивно виготовлений з металу (латуні) і за зовнішнім виглядом нагадує мідні інструменти, проте за принципом звукоутворення належить до дерев'яних духових. Саксофон має конічний канал і оснащений

одинарною тростиною, тому класифікується разом із кларнетом та іншими язичковими інструментами [Koriakin, с. 103]. З акустичної точки зору матеріал корпусу не має вирішального значення для тембру – досліджено, що сам по собі метал vs дерево мало впливає на характер звуку, головним фактором є форма каналу і акустичні властивості резонатора [Wolfe, с. 51]. Отже, саксофон можна вважати «гібридним» лише в органологічному сенсі: він металевий, але за функцією – типовий дерев'яний духовий.

Акустичні властивості дерев'яних і мідних духових. Кожна група духових інструментів характеризується своїм діапазоном частот, динамічним діапазоном, тембром та напрямленістю випромінювання звуку. Загалом дерев'яні духові (флейти і язичкові) мають м'якший тембр і порівняно рівномірний спектр гармонік у робочому діапазоні, тоді як мідні вирізняються яскравим, насиченим верхніми обертонами звуком і значно вищою гучністю. Наприклад, флейта охоплює приблизно діапазон від ~ 216 Гц до ~ 2093 Гц (три октави) і має відносно невеликий динамічний діапазон: близько 25 дБ на низьких нотах і лише ~ 10 дБ на найвищих [Войтович, с.40]. Це означає, що у верхньому регістрі флейти різниця між тихим і голосним звуком невелика, і загалом флейтовий тон залишається прозорим, але менш потужним. Тембр флейти відомий своєю ніжністю та «повітряністю» – на спектрограмі помітно, що вищі гармоніки (понад ~ 4 кГц) присутні з відносно малою амплітудою [Wolfe, с. 53], через що у найвищому регістрі інструменту обертони частково зникають, обмежуючи яскравість звучання. Кларнет (циліндричний канал, одинарна тростина) має інший характер спектра: у нижньому регістрі (шалеумо) сильно переважають непарні гармоніки, що надає тембру глухуватого, «округлого» забарвлення [Войтович, с.40]. У середньому та верхньому регістрах кількість обертонів зростає підсилюючи яскравість звуку, хоча навіть у високих нотах кларнет звучить м'якше, ніж, приміром, труба. Дерев'яні духові загалом мають дещо повільніший розвиток атаки звуку: для початку коливання повітряного стовпа потрібен певний час подачі повітря або початковий імпульс язичка. Втім, сучасні флейтисти і

кларнетисти здатні артикулювати ноти досить чітко – характер атаки залежить від техніки виконавця (наприклад, прийом подвійного язичка на флейті/гобої дає дуже швидку атаку). Щодо напрямленості, дерев'яні духові випромінюють звук не тільки через розтруб (якщо він є), але й через відкриті тонові отвори вздовж корпусу, тому їх діаграма спрямованості складна і сильно залежить від частоти: на низьких частотах вони майже ненаправлені, а на високих формують кілька головних пелюстків випромінювання [Войтович, с.110].

Мідні духові інструменти мають суттєво інші властивості. Труба та споріднені інструменти з вузькомензурним конічним каналом дають сильний, яскравий звук. Їхній тембр у середньому регістрі блискучий і насичений обертонами, а у верхньому – різкий, навіть пронизливий [Koriakin, с. 114]. Спектр мідних характеризується наявністю декількох формантних областей – зокрема, для труби відзначено два основних підйоми амплітуди гармонік: в діапазоні $\sim 1,2$ – $1,4$ кГц та $\sim 2,5$ кГц [Koriakin, с. 114]. Ці частоти відповідають природним резонансам мензури і визначають яскравість тембру; водночас при надмірному підсиленні можуть спричиняти неприємну різкість. Динамічні можливості мідних значно перевищують дерев'яні: середній динамічний діапазон труби становить близько 37 дБ, при тому що найгучніші звуки сягають ~ 95 дБ-С на відстані 16 м від виконавця (для порівняння, кларнет при грі піанісімо на низьких нотах дає лише ~ 40 дБ-А, а на форте у високому регістрі – ~ 70 дБ-А). Таким чином, труба здатна перекрити за гучністю весь оркестр. Атака звуку у мідних духових дуже енергійна: завдяки різкому удару язичка (губ) об мундштук формується стрімкий фронт наростання (близько 20–30 мс) і навіть додатковий короткий імпульс тривалістю ~ 5 мс через ~ 10 – 15 мс від початку атаки – виникнення цього імпульсу пов'язане з появою високочастотних обертонів (2–3 кГц) при різкому розкритті губ. Такий “сплеск” на початку ноти додає різкості атаці; при м'якій атаці (легато) він згладжується, і тривалість перехідного процесу може зростати до 150–180 мс. Щодо напрямленості, мідні духові випромінюють звук майже виключно через розтруб. На низьких частотах їх

діаграма близька до кола, але зі зростанням частоти основний пелюсток спрямованості звужується і чітко орієнтований вперед уздовж осі розтруба [Koriakin, с. 115- 117] Наприклад, валторна, що має розтруб, спрямований назад, в оркестрі звучить м'якше саме через непряму напрямленість – значна частина її звуку відбивається від стін і підлоги, перш ніж дійде до слухача. Підсумовуючи, мідні духові інструменти характеризуються потужним та яскравим звуком з швидкою атакою і сильно вираженою напрямленістю, тоді як дерев'яні дають більш камерний за гучністю та забарвленням звук з багатим, але м'якшим спектром і складнішою картиною випромінення. Ці відмінності зумовлюють різні підходи як до техніки запису, так і до подальшої обробки звуку обох груп.

1.2 Акустичні проблеми при записі

При записі духових інструментів можуть виникати специфічні проблеми, обумовлені їхніми акустичними особливостями та умовами приміщення. Розглянемо основні з них та підходи до вирішення.

- Проблемні частоти. Багато духових інструментів мають характерні резонансні підйоми у спектрі, які можуть спричиняти небажані тональні акценти при записі. Наприклад, у кларнета перехід між регістрами (між “шалеумо” і “тромбоновим” регістром) пов'язаний з підсиленням певних формант, що може дати “носовий” відтінок звуку. У труби, як зазначалося, сильні обертони концентруються біля $\sim 1,3$ кГц та $\sim 2,5$ кГц [Koriakin, с. 114] – ці частоти на записі можуть виділятися надмірно різко, особливо при грі форте, створюючи відчуття “колючого” звуку. Низькі частоти ($< \sim 100$ Гц) у духових інструментах зазвичай не несуть музичної інформації (окрім туби і контрафагота) – це переважно шум дихання, призвуки приміщення або фон. В невеликих кімнатах можуть виникати стоячі хвилі, що підсилюють окремі ноти (буміння) або провали у спектрі. Отже, при записі часто виникає потреба контролювати проблемні частоти: зменшувати занадто різкі резонанси та

відсікати зайвий низькочастотний шум. Це підвищує якість сигналу ще на етапі трекінгу, полегшуючи подальший мікс.

- Мікрофонування (розміщення, типи мікрофонів, відстані). Правильний вибір і розташування мікрофона є критичним при записі духових, оскільки від цього залежить баланс між прямим звуком інструмента і відбиттями приміщення, а також спектральна картинка. Враховується діаграма напрямленості самого інструмента: для мідних духових основний потік звуку спрямований прямо вперед з розтруба, тому мікрофон розташовують перед інструментом (дещо вбік від осі, щоб уникнути надмірної різкості та прямих високочастотних “трансієнтів”). Для дерев’яних духових оптимальна позиція мікрофона – на відстані 0,5–1 м від інструмента спереду і трохи зверху, щоб захопити сумарний звук від всіх отворів. Якщо поставити мікрофон надто близько до, скажімо, бела гобоя чи саксофона, запис може вийти неінформативним – буде домінувати звук з розтруба (особливо на низьких нотах), тоді як верхні тони, що виходять з отворів, будуть слабшими. Тому для дерев’яних духових часто використовують середню відстань і мікрофони з кардіоїдною діаграмою, аби отримати збалансований тембр і водночас відсіяти зайву реверберацію залу [Войтович, с. 131]. На низьких частотах усі інструменти випромінюють звук майже кругово, а з підвищенням частоти – все більш напрямлено. Так, для мідних оптимально розташувати мікрофон практично навпроти розтруба (щоб захопити всі високочастотні складові), тоді як для, наприклад, флейти бажано спрямувати мікрофон в область головки (біля отвору ембурю) – там формується основний спектр. Тип мікрофона також має значення: конденсаторні мікрофони малого діаметра добре передають швидкі транзієнти і високі частоти, тому їх часто беруть для флейт, кларнетів, тоді як для дуже гучних і яскравих труб чи тромбонів нерідко застосовують стрічкові або динамічні мікрофони, які дещо згладжують різкі високі тони. Відстань до інструмента впливає на баланс прямого/відбитого звуку: при близькому розташуванні мікрофона до

музиканта досягаються найкращі результати щодо чіткості та розбірливості – мінімізується вплив приміщення. Якщо ж мікрофон віддалено (наприклад, більше 2–3 м), зростає частка реверберації і може виникнути відчуття “розмитості” звуку та надмірної просторості запису. Таким чином, вибір відстані – це пошук компромісу між природною акустикою і деталізацією: для сольних записів у студії зазвичай ставлять мікрофон ближче (30–80 см), для ансамблів і оркестрів – використовують головну стереопару дещо далі від сцени плюс додаткові близькі мікрофони на секції.

- Приклади з літератури та практики. У практиці академічного звукозапису напрацьовано низку підходів до мікрофонування духових. Наприклад, Дж. Ергл (John Eargle) у “Книзі про мікрофони” наводить типову схему запису симфонічного оркестру: крім головної стереопари, використовуються додаткові мікрофони для підсилення окремих груп. Зокрема, для секції валторн ставлять один кардіоїдний мікрофон зверху, спрямований вниз у бік розтрубів; для групи дерев’яних духових – стереопару ORTF, спрямовану приблизно на другого ряду виконавця. В духовому оркестрі чи біг-бенді нерідко кожен інструмент або партія має свій “акцент”-мікрофон. При такому багатомікрофонному записі важливо слідкувати за фазовою узгодженістю сигналів: часто доводиться вводити невелику затримку (delay) на близьких мікрофонах, щоб синхронізувати їх із основною парою. В оркестрових записах також практикують фільтрацію низьких частот на акцентних мікрофонах – наприклад, всі мікрофони, розташовані біля духових груп, можуть бути підключені через НЧ-фільтр ~100 Гц для усунення гулу сцени та низькочастотних завад. Потім такі сигнали при змішуванні збагачують штучною реверберацією, яка, втім, не повинна перевищувати природну реверберацію залу. Таким чином, отримують прозорий і водночас об’ємний звук: прямі мікрофони забезпечують розбірливість, а доданий ревербератор – відчуття простору. У студійній практиці для сольних духових інструментів часто застосовують ізольовані кабінки або екранування, щоб зменшити

небажані відбиття; в таких випадках штучна реверберація на етапі мікшування є основним засобом створення акустичного середовища запису.
[Войтович, с. 132 -135]

2. Аналітична частина: Цифрова обробка

2.1 Типові підходи

У процесі мікшування і мастерингу записів духових інструментів застосовується низка типових прийомів цифрової обробки. Розглянемо найбільш поширені з них та їхню специфіку стосовно духових.

- Еквалізація: Еквалізація є базовим інструментом корекції тембру духових інструментів. Першочергово вона використовується для усунення або пом'якшення проблемних резонансів (виявлених у розділі 2.2 частот, які звучать занадто різко або гулко). Наприклад, якщо запис труби містить надмірно сильний тональний пік близько 2,5 кГц [Koriakin, с. 123], вузьке зниження (notch або peaking-фільтр) на цій частоті згладить різкість, зберігаючи загальний яскравий характер тембру. Так само, для кларнета можна трохи послабити ділянку $\sim 1\text{--}1,5$ кГц, щоб зменшити “носовий” відтінок, який виникає через особливості його спектру. Окрім усунення резонансів, еквалайзер допомагає виділити характерну зону звучання інструмента: приміром, “повітря” флейти міститься в області 5–8 кГц – невелике підвищення на цих частотах додасть блиску і присутності, підкресливши дихальний шум, що є частиною флейтового тембру. Так само саксофону чи гобою для виразності іноді підсилюють область $\sim 3\text{--}4$ кГц, відповідальну за формування яскравих обертонів. Низькочастотні фільтри (HPF) майже завжди доречні: як зазначено в оркестровій практиці, акцент-мікрофони духових пропускаються через HPF на ~ 100 Гц, щоб прибрати небажаний шум. У сольному записі флейти доцільно відсікти все нижче ~ 150 Гц (нижче її діапазону [Войтович, с. 135-136]), аби усунути гул і поп-вибухи від дихання; для гобоя чи кларнета – нижче $\sim 80\text{--}100$ Гц. Таким чином, еквалізація дозволяє “очистити” звук духових від зайвих частот і одночасно підкреслити потрібні, що робить інструмент більш розбірливим у міксі. Важливо при цьому зберігати природність: надмірні еквалайзерні правки

(наприклад, занадто сильне підсилення високих, що не притаманні живому інструменту) можуть спотворити тембр. Тому інженери орієнтуються на еталонне звучання – нерідко порівнюють спектр запису з еталонним спектром інструмента, наведеним у літературі (як от склад обертонів кларнета) – і коригують тільки те, що заважає або не відповідає художньому задуму.

- **Компресія:** Компресори використовуються для контролю динамічного діапазону духових інструментів. Деякі духові (труби, тромбони) здатні видавати дуже гучні піки, що набагато перевершують середній рівень звучання – без компресії такі різкі перепади можуть утруднювати балансування міксу і спричиняти перевантаження тракту. Водночас, інші інструменти (наприклад, флейта у високому регістрі) мають обмежену динаміку і майже не потребують стиснення [Koriakin, с. 124]. Тому підхід диференційований: для мідних духових зазвичай застосовують сильніше стиснення, аби втамувати піки і зробити звук рівномірнішим по гучності. Наприклад, на трек труби часто ставлять компресор з відносно високим співвідношенням (4:1 і більше) та порогом, що спрацьовує на гучних нотах – це “притримує” форте і робить загальну гучність стабільнішою. Однак, важливо враховувати нюанси атаки: якщо компресор спрацьовує надто швидко, він може зрізати натуральний різкий початок звуку труби, який триває лише кілька мілісекунд. Тому часто задають час атаки ~10–20 мс, щоб дати транзйєнту (початковому імпульсу) пройти, зберігаючи характерну “атаку” інструмента, і вже тоді стискають основний тон. Для дерев’яних духових компресія зазвичай м’якша (коефіцієнт 1.5:1–3:1): їхній динамічний діапазон менший, та й перевантажуючі піки виникають рідше. Компресор тут виконує швидше роль вирівнювання і додання щільності звучанню – наприклад, легке стиснення саксофона допоможе витягнути тихі нотки, зробити звук “щільнішим” на фоні ритм-секції, але не зруйнує природну нюансировку. Налаштування релізу також важливе: надто короткий реліз

може призвести до “пульсацій” рівня при швидкій грі, а надто довгий – до зниження гучності наступних нот. Тому реліз часто ставлять в режим авто або підбирають середні значення (~100–200 мс) залежно від темпу музики. Результатом правильно налаштованої компресії є те, що духовий інструмент добре “сидить” у міксі: він постійно присутній і чутний, але ніде не випирає і не “кричить” понад міру. Звісно, при художньому задумі зберегти максимальну динамічну живість (наприклад, в академічному записі соло-флейти) компресії можна взагалі уникнути, обмежившись автоматикою гучності у разі потреби.

- Реверберація: Штучна реверберація використовується для створення відчуття простору та “занурення” звуку духових інструментів у певну акустичну середу. Правильне застосування реверберації значно впливає на сприйняття – людський слух підсвідомо аналізує відлуння, щоб оцінити відстань до джерела і розмір приміщення. В академічних жанрах (оркестровий запис, камерна музика) прагнуть емулювати натуральну акустику концертної зали: для цього використовують ревербератори типу Hall або імпульсні ревербератори зі зразками реальних залів, додаючи їх до сухого запису духових. Наприклад, якщо флейта записана в сухій студії, додавання ~1,2–1,5 с реверберації з характером “концертного залу” зробить її звучання більш об’ємним і природним для слухача. Дуже важливо дотримуватися балансу – надмірна тривалість реверберації призводить до появи розмитого гулу, відчуття “порожнього залу”, деталі гри губляться. Натомість занадто коротка реверберація (або її відсутність) робить звук сухим, близьким, позбавленим просторової “аури” – музичне звучання втрачає злитість і виразність [Koriakin, с. 103-104]. Тому параметр RT60 (час реверберації) підбирається залежно від характеру музики: для швидких технічних пасажів або естрадної музики час реверу може бути коротшим (наприклад 0,5–1 с, кімнатний або пластинчастий ревербератор) – щоб не зливалися ноти, забезпечуючи чіткість. Для повільних мелодій, особливо

сольних, доречний довший ревербераційний шлейф (2–3 с), який додасть величності і глибини. Як зауважують теоретики, оптимальна тривалість реверберації залежить і від жанру: камерна музика, естрадна, симфонічна – усі потребують різних акустичних умов [Войтович, с. 136]. В практиці зведення часто використовують комбінацію ревербераторів: конволюційний для імітації реального простору та алгоритмічний (наприклад, пластина) для додання щільності та красивого затухання. Для духових важливо також врахувати напрямленість: якщо інструмент у залі випромінює звук вперед (труба), то більша частина відбиттів приходить від передніх стін – у панорамуванні і пределеях реверберації це можна змодельовати, задавши відповідні параметри пределею (pre-delay) та панорами відбиттів. У оркестровому записі, як було згадано, штучна реверберація іноді додається навіть до вже “живого” запису – з метою отримати бажаний художній ефект. Наприклад, в описаному експерименті запису оркестру у великому залі всі близькі мікрофони духових були трохи збагачені додатковою реверберацією через цифровий процесор, причому так, щоб вона не перекривала природню акустику [Koriakin, с. 104]. Висновок: реверберація є потужним інструментом формування звучання духових. Вона створює “образ” простору – від малої кімнати (суха, інтимна атмосфера) до собору (величний, розлогий саунд). Головне – використовувати її в певних межах, які покращують якість звучання, додаючи приємний резонанс приміщення, але не знижують чіткість музики.

- Позиціонування в стерео: Правильне розташування духових інструментів у стереопанорамі забезпечує натуральність образу і розбірливість партій. Якщо запис виконано стереопарою (наприклад, оркестр), то кожен інструмент вже займає певне місце в стереобазі, відповідно до розташування на сцені. При багатоканальному записі або студійному накладенні необхідно панорамувати кожен інструмент на відповідну позицію. Зазвичай орієнтуються на класичну розстановку: флейти, гобої – злегка лівіше центру, кларнети – злегка правіше,

фагот – ближче до центру; труби і тромбони – справа (у джазі – навпаки можуть бути зліва), валторни – зліва, туба – близько до центру або трохи ліворуч. Такий панорамний розподіл відображає стандартний оркестровий баланс і створює відчуття реалістичного простору. Крім панорами, використовується також регулювання глибини: для інструментів, що повинні звучати “далі” (наприклад, група валторн, розташована за іншими музикантами), зменшують рівень і додають трохи більше реверберації/відбиттів (або збільшують pre-delay ревербератора), щоб створити ілюзію віддалення. Навпаки, солюючий інструмент роблять трохи гучнішим і сухішим, панорамуючи ближче до центру, аби привернути увагу слухача. Слід також врахувати можливі конфлікти у панорамі: якщо кілька духових грають унісон або схожі партії, їх небажано накладати один на одного в одній точці стерео – краще розвести, щоб кожен був чути. У сучасній музиці можуть застосовуватися й творчі рішення панорамування: наприклад, розширення стереообразу соло-саксофона шляхом додавання до основного сигналу обробленої реверберацією копії в протилежний канал тощо. Проте в академічному контексті панорамування здебільшого прагне до природності. Фактично, позиціонування – це частина етапу мікшування, що відповідає за “просторову картину” виконання.

- Шумозаглушення: Записи духових інструментів можуть містити небажані шуми – шурхіт дихання флейтиста, шум клапанів у валторні, фоновий гул приміщення або сцени. Ці шуми особливо помітні у паузах і на тихих фрагментах. Сучасні цифрові пристрої надають різні засоби шумозаглушення: шумові ворота (noise gate) відсікають сигнал нижче певного рівня, прибираючи шум в паузах; де-ноїзери (Noise Reduction plugins, наприклад, iZotope RX) аналізують спектр шуму і витягують його складову зі звуку. При роботі з духовими важливо не перестаратися: агресивне шумопониження може призвести до артефактів – спотворення тембру, металевого призвуку, “булькання” на місці колишнього шуму. Тому такі

інструменти застосовують обережно, налаштовуючи пороги і рівні зменшення так, щоб шумова підкладка знижувалася непомітно для вуха. Наприклад, видаляючи шиплячий фон запису флейти, слід зберегти її природний дихальний шум, який є частиною тембру; повне усунення цього шуму зробить звук неприродно “стерильним”. Загалом, якісний мікрофонний запис у тихому приміщенні є пріоритетом – тоді потреба в шумозаглушенні буде мінімальною. Якщо ж умови далекі від ідеальних, цифрові засоби дозволяють суттєво покращити SNR (відношення сигнал/шум), зробивши звук чистішим. Важливо перевіряти результат на слух: слухова система людини дуже чутлива до неприродних змін тембру та динаміки, тому будь-яка обробка, пов’язана з втручанням у спектр (до яких належить і шумозаглушення), повинна зберігати суб’єктивно природне звучання інструмента.

Цифрова обробка звуку здатна суттєво змінити сприйняття музичного матеріалу слухачем. Важливо оцінювати не лише технічні параметри, а й естетичний бік – тобто, як саме застосовані ефекти впливають на художнє враження від звучання духових інструментів.

- Сприйняття слухачем змін у звучанні. Людський слуховий апарат має нелінійну чутливість до змін гучності і спектра звуку [Koriakin, с. 127] Тому навіть відносно незначні корекції можуть помітно позначитися на сприйнятті тембру і динаміки. Загалом грамотна обробка робить звук більш привабливим для слухача: еквалізація, прибираючи бруд і підкреслюючи важливі гармонійні компоненти, підвищує розбірливість кожної ноти; компресія забезпечує стабільність гучності, завдяки чому тихі деталі не пропадають, а загальна картина відчувається ціліснішою; реверберація додає глибину і просторову “ауру”, що відповідає очікуванням слухача (адже в реальних умовах ми завжди чуємо інструмент у певному просторі, з відлунням). Слухач, як правило, позитивно сприймає такі зміни, якщо вони не виходять за межі природності. Критерій тут – відсутність явних

артефактів: оброблений звук не повинен втомлювати, дратувати надмірною різкістю або, навпаки, бути занадто приглушеним. Варто пам'ятати, що мінімальне зміна рівня, яку вухо здатне помітити, складає близько 1 дБ. Відповідно, підйоми/спади еквалайзером менше 1–2 дБ будуть майже непомітними для пересічного слухача, тоді як зміни на 3–6 дБ вже суттєво впливають на забарвлення звуку. Так само компресія з редукцією в кілька дБ може навіть не усвідомлюватися слухачем як окрема дія, проте сприймається як “кращий”, більш збалансований звук. Отже, помірність – ключ до позитивного естетичного ефекту: обробка має підтримати природні властивості інструмента і поліпшити їх, але не зруйнувати.

- Образність, виразність, розбірливість. Цифрова обробка дозволяє підсилити образно-емоційну складову звучання духових інструментів. Правильно підібрана реверберація здатна перенести звук труби в величний собор або створити ілюзію нічного джаз-клубу для саксофона – цим самим формується звуковий образ, що відповідає задуму твору. Реверберація додає звучанню злитості та наповненості: в добре відрегульованій акустиці музика звучить “соковито, наповнено”[Koriakin, с. 127], а штучний ревербератор при вмілій настройці може відтворити цей ефект. Водночас, як зазначалося, надмір реверберації шкодить розбірливості: окремі ноти зливаються, швидкі пасажі стають нечитабельними, знижується чіткість атак. Тому для покращення розбірливості швидких пасажів духових інколи спеціально знижують рівень реверберації або скорочують її час (аж до застосування гейтованого ревербератора для різких стаккатних фраз). Компресія, впливаючи на мікродинаміку, також пов'язана з виразністю: занадто сильне стиснення може “зрізати” динамічні нюанси виконання (піано-форте контрасти, акценти), через що гра втрачає емоційну виразність. З іншого боку, легка компресія здатна зробити темброві деталі більш помітними – наприклад, видобути шелест роботи клапанів або подих музиканта, що додає присутності й “інтимності” запису, якщо це доречно художньо. Еквалізація впливає на

темброву виразність: підкреслення формант може зробити звук більш “співучим” (як-от невеликий підйом ~ 2 кГц додає гобою проникливості), а прибирання мутності в області $\sim 250\text{--}500$ Гц робить тембр більш прозорим і окресленим. Таким чином, кожен тип обробки може як підвищити, так і знизити виразність – залежно від міри застосування. Звукоінженер, здійснюючи обробку, фактично виступає співавтором звучання: він може акцентувати ті чи інші риси інструмента, керуючи увагою слухача. Вдале застосування ефектів здатне підсилити емоційне враження від сольного пасажу (наприклад, легкий “хорус”/doubling на саксофоні може створити відчуття простору навколо звуку, роблячи його більш “об’ємним” і проникаючим). Важливо лише, щоби всі ці прийоми служили музичній ідеї і не відволікали на себе увагу слухача як сторонні ефекти.

- Порівняння обробленого й необробленого звучання. З точки зору кінцевого результату, оброблений запис духових інструментів зазвичай сприймається слухачем як більш професійний та приємний на слух у порівнянні з сирим, необробленим. Необроблений трек часто може звучати плоско або різко: реальний інструмент в кімнаті без доробки може дати нерівномірний спектр, і слухач (особливо непідготовлений) відмітить, що “десь дзвенить у вусі” або “важко розібрати ноти в реверберації”. Після обробки ці недоліки згладжуються: спектр стає більш збалансованим, немає надлишкових піків або провалів – звук сприймається як багатший і чистіший. Наприклад, якщо взяти сирий запис валторни в залі – без обробки він може здатися далеким і з шумом сцени; після обробки (еквалізація для прозорості, трохи компресії для стабільності та додавання реверберації для потрібної просторості) – той самий фрагмент звучить ближче, тепліше, чіткіше. Уявлення про ідеальний звук у слухача формується багато в чому масовою фонограмною продукцією, де всі інструменти “вилізано”. Тому оброблений матеріал відповідає цим очікуванням: духові інструменти вписуються в загальний звуковий ландшафт композиції, не випадають і не губляться. Звичайно, при прямому А/В

порівнянні можна помітити, що, скажімо, після компресії труба стала менш різкою і трохи втратила в піковій динаміці, зате стала стабільнішою по рівню – тут питання, що краще з художньої точки зору. У академічному жанрі інколи віддають перевагу мінімально обробленому, більш “живому” звучанню, навіть якщо воно технічно недосконале (невеликі небаланси спектра, чутно подих тощо), адже це підкреслює автентичність виконання. Але в більшості випадків навіть академічний запис проходить стадію легкого тонального і динамічного коригування, не кажучи вже про популярну музику, де агресивна обробка – норма. Порівняння до/після також допомагає звукорежисеру оцінити ефективність своїх дій: правильна обробка зазвичай дає ефект “очевидного покращення” – коли увімкнений еквалайзер чи компресор, інструмент ніби “стає на місце”, краще поєднується з іншими, і при його вимкненні починає не вистачати цієї корекції. Якщо ж обробка зроблена невдало, при вимкненні плагінів слухач відчує полегшення (“стало натуральніше”). Тому на практиці кожен крок обробки бажано перевіряти у контексті та порівнянні, щоб переконатися в доцільності внесених змін. Грамотно оброблений духовий інструмент збереже свій характер (тембр, динаміку, артикуляцію) [Войтович, с. 137], проте звучатиме максимально виграно для заданого музичного середовища – власне, цього і прагне звукорежисур, завданням якої є створити якісний звук і максимально природно відтворити звучання інструментів [Вишняк, с. 153], [Палій, с. 89], навіть використовуючи штучні засоби.

2.2 Розробка шаблонів обробки в Reaper

На основі проведеного аналізу було створено низку типових шаблонів обробки (FX Chain) для різних духових інструментів у цифровій аудіостанції Reaper. Кожен шаблон включає набір плагінів з певними налаштуваннями, які враховують особливості конкретного інструмента. Нижче наведено короткий опис та основні елементи FX-ланцюжка для кожного випадку:

- Флейта (дерев'яний духовий, лабіальний тип): Щоб підкреслити чистоту і блиск звучання флейти, у ланцюжку використано еквалайзер з високочастотним підйомом $\sim +3$ дБ на 7 кГц (надає “повітряність”) та зниженням ~ -3 дБ в області 1 кГц (прибирає можливо різку “металічність” від свистка). Низькі частоти відсічено фільтром (HPF) на 150 Гц [Войтович, с. 139], оскільки нижче основної ноти флейти містяться лише шуми дихання і фоновий гул. Далі в ланцюжку – м'який компресор (Ratio $\sim 2:1$, поріг налаштований так, щоб стискати $\sim 3\text{--}5$ дБ на найгучніших нотах). Час атаки встановлено ~ 20 мс, щоб не знищити атаку звуку язичком, реліз – ~ 100 мс (авто). Цей компресор злегка вирівнює динаміку, роблячи тихі нотки більш чутними, але зберігає природні нюанси флейтової гри. На виході – ревербератор типу Hall з часом реверберації $\sim 1,2$ с і пре-делеєм ~ 30 мс: він створює відчуття невеликої концертної зали, додаючи об'єму звучанню, але не розмиваючи артикуляцію швидких пасажів. Загалом, цей шаблон забезпечує прозоре, блискуче і просторове звучання флейти, близьке до еталонного концертного виконання.
- Кларнет (дерев'яний духовий, одинарна тростина): Обробка кларнета націлена на збереження його теплого тембру і одночасно усунення “задухи”, яка може з'являтися при близькому мікрофонуванні. У FX-ланцюжку першим стоїть еквалайзер: введено легкий bell-фільтр -2 дБ на $\sim 1,5$ кГц для зменшення носового призвуку та -2 дБ на ~ 250 Гц, щоб прибрати надмірну гугнявість/бубоніння корпусу. Вищі частоти кларнета досить м'які самі по собі, тому додаткового підсилення вище 5 кГц не робилося (аби не виникало непритаманного шипіння). Низькі частоти зрізані нижче ~ 80 Гц (HPF), що усуває сторонній низькочастотний шум. Далі – компресор з невеликим коефіцієнтом $\sim 1.8:1$ і порогом, який зачіпає лише найгучніші моменти (стиснення до 3 дБ). Час атаки ~ 15 мс, реліз ~ 120 мс: це допомагає згладити різкі акценти при інтенсивній грі стаккато, але зберігає динаміку фразування. Після компресії тембр кларнета став більш рівним по гучності, кожна нота

добре читається навіть на фоні інших інструментів. Для простору застосовано реверберацію типу Room (імпульс невеликої камерної зали) з часом $\sim 0,8$ с і домішкою близько 20% (доволі сухий сигнал). Це дає легкий природний відблиск, ніби кларнет грає в невеликій аудиторії, не додаючи зайвого “хвоста”. Якщо кларнет солює у повільному творі, параметри реверберації можна збільшити (до 1,5 с і 30–40% міксу) для більшої виразності. Крім того, передбачено використання плагіна Stereo Enhancer при необхідності трохи “розширити” моно-сигнал кларнета в стерео (наприклад, імітувати відбиття від стін), але в стандартному шаблоні він вимкнений. Результат – кларнет звучить тепло, чітко і не “давиться” в міксі, зберігаючи свій характерний тембр дерев’яного духового.

- Саксофон (дерев’яний духовий, одинарна тростина, конічний канал): Саксофон, особливо тенор або альт, має потужний середньочастотний спектр і іноді надмірну яскравість на верхніх нотах. Для нього застосовано еквалізацію, подібну до кларнетової, але з урахуванням специфіки: вирізано ~ -3 дБ на 2 кГц, щоб прибрати надлишкову різкість, яка виникає через конічний канал [Войтович, с. 140], і піднято $+2$ дБ на ~ 300 Гц, додаючи “тіла” звуку (саксофон повинен звучати густо). Також зроблено high-shelf $+1,5$ дБ від 8 кГц – це підкреслює верхні обертони, додаючи “живого” подиху та блиску, які можуть губитися при закритому звучанні. НЧ-фільтр стоїть на 80 Гц, забираючи найнижчий гул і вібрації підлоги. Компресор використовується трохи більш агресивно, ніж для кларнета: Ratio $\sim 2.5:1$, поріг так налаштований, щоб середнє стискання було ~ 4 дБ на форте фрагментах саксофону (наприклад, в рок-партіях). Атака ~ 10 мс (саксофонний звук має м’який початок, тому немає ризику знищити транз’єнт – можна ловити його майже зразу), реліз ~ 80 мс, щоб швидко відпускати між фразами. Така компресія робить саксофон “щільнішим” і більш рівномірним по треку – характерно для студійного поп/джаз-звучання саксу. Реверберація – типу Plate (пластинна), час близько 1,0 с, мікс $\sim 25\%$. Пластинний

ревербератор вибрано, бо він надає саксофону приємного шлейфу без надлишку room-відбиттів, до того ж пластина трохи згладжує різкі високі частоти, додаючи “вінтажної” тембральної відтінку. У підсумку саксофон у цьому шаблоні виходить густим, округлим і водночас достатньо яскравим – він легко прорізається крізь акомпанемент, не ріжучи вухо. На фінальному етапі ланцюжка додано лімітер, що обмежує пікові значення на -1 дБfs (щоб уникнути кліппінгу при найгучніших форсажах сакса, які інколи трапляються).

- Труба (мідний духовий, високий регістр): Для труби важливо контролювати її різкий і дуже динамічний звук, зберігаючи при цьому “блиск”. У шаблоні еквалізація компенсує специфічні резонанси: зроблено вузькі вирізи ~ -4 дБ на 1,3 кГц і -3 дБ на 2,6 кГц (ці частоти відповідають двом основним формантам тембру труби [Koriakin, с. 127]; їх легке приглушення пом’якшує найкричущі обертони, не роблячи звук глухим). Натомість додано $+2$ дБ при ~ 5 кГц (цей діапазон дає “бризкіт” і присутність труби, особливо в атаках). Також за потреби можна додати high-shelf $+1-2$ дБ від 10 кГц, якщо хочеться більше повітря у сольних пасажах, але у ансамблі це рідко потрібно. Низ відсічено фільтром на 100 Гц (труба практично не видає корисного сигналу нижче, хіба що ударні звуки клапанів). Компресор для труби налаштований як peak limiter: високий Ratio $\sim 6:1$, коротка атака ~ 5 мс і поріг, що спрацьовує на кожному форте (редукція може сягати 6–8 дБ на найгучніших нотах). Це досить сильне стиснення, необхідне, аби приборкати різкі піки і захистити мікс від раптових “вистрілів” труби. При цьому паралельно використано техніку parallel compression: оригінальний сигнал змішаний з $\sim 30\%$ сильно стисненого сигналу – це додає щільності загальному звуку, не вбиваючи транзєнтів повністю. Таким чином, атаки нот все ще прориваються, але одразу після них компресор плавно підтягує сустейн, роблячи звук більш “довгим” і рівним. Реверберацію для труби обрано типу Hall з часом $\sim 1,5$ с, але з помірним рівнем (20% міксу) і із застосуванням predelay ~ 40 мс. Це

значить, що прямий звук труби долітає до слухача чітко, а зал починає відзиватися з невеликою затримкою – такий прийом зберігає артикуляцію (особливо у швидких пасажах) і водночас дає відчуття простору великого залу навколо. Крім того, у Reaper до шаблону труби додано плагін Dynamic EQ на тих же частотах 1,3 кГц і 2,6 кГц: він налаштований з порогом, щоб при надто гучних звуках труби додатково трохи (~2–3 дБ) знижувати ці частоти, тоді як на тихих звуках EQ не діє. Це допомагає автоматично адаптувати тембр: коли трубач грає тихо – чути весь спектр (це природно), а коли форсує – надмірні різкі гармоніки приборкуються. Підсумковий звук труби у цьому шаблоні – яскравий, сфокусований, але без відчуття дискомфорту на forte; інструмент ясно звучить у міксі, зберігаючи лідерську партію, але не “висверлює” вуха слухачеві.

- Валторна (мідний духовий, середній регістр): Валторна має більш м’який, округлий тембр порівняно з трубою, проте її звук легко стає каламутним при неправильному записі (через направленість назад і відбиття від стін). Тому обробка валторни спрямована на прояснення тембру і додання йому присутності. Еквалайзер: підсилено +3 дБ на ~3 кГц – це зона “визначеності” валторни, де міститься більшість формант її тембру (натуральні валторни мали багатший тембр саме за рахунок цих середніх частот [Войтович, с. 141]). Також злегка піднято +2 дБ на 8–10 кГц (додає “повітря” атакам, чути більше деталей губ та призвуків мундштука). Низькі середні частоти, навпаки, трохи зменшено: -2 дБ на ~250 Гц, щоб прибрати гулкість корпусу і відбитий “бубон” від підлоги. Введено HPF на 60 Гц (у партіях валторни корисний сигнал може доходити до ~65 Гц, але нижче – лише шум залу). Компресор – м’який, 2:1, з порогом на рівні середнього меццо-форте (тобто при сильнішій грі стискатиме 3–4 дБ). Атака ~25 мс, реліз ~200 мс: валторна має не надто різку атаку і довгі ноти, тому можна дозволити повільнішу реакцію компресора. Цей компресор радше виконує роль leveler-a: трохи згладжує сильні ноти, щоб інструмент “не випадав” з фактури при раптових

фортисимо, і підтягне тихі кінцівки фраз. Реверберація – з урахуванням того, що валторні в оркестрі зазвичай знаходяться позаду: застосовано Hall ревербератор $\sim 2,0$ с, але з меншим pre-delay (~ 10 мс) і трохи більшим міх (30%). Це створює відчуття, що валторна знаходиться далі в залі і звучить більш розсіяно. У сольному контексті, якщо треба, щоб валторна звучала ближче, можна зменшити реверберацію до 1,2 с і 15% міх. Додатково, шаблон валторни містить опційний chorus ефект на дуже низькому рівні (глибина 8%, швидкість 0.25 Гц) – це імітує легкий унісон або природній ensemble effect, коли група валторн грає разом. Включення цього ефекту робить звук трохи густішим і ширшим, що корисно, якщо одна валторна записана соло, а потрібен ефект групи. Підсумок: оброблена валторна звучить виразно, не губиться за іншими інструментами, має чіткіший тембр з достатньою яскравістю, зберігаючи при цьому характерну м'якість. У миксі такий звук легко позиціонується і дає відчуття “оркестрової” валторни, розташованої на сцені.

- Тромбон (мідний духовий, низький-середній регістр): Тромбон поєднує в собі потужність мідних і відносно широкий спектр з сильними низькими гармоніками. Його обробка зосереджена на контролі низького спектру та на доданні чіткості атакам. Еквалайзер: low-shelf фільтр -3 дБ від ~ 120 Гц, щоб запобігти надмірній гулкості (тромбон може видавати дуже енергійний басовий компонент, що забиває мікс, особливо якщо на записі є кілька тромбонів або туба поруч). Робиться легкий bell-підйом +2 дБ на ~ 4 кГц – це покращує чіткість артикуляції (звук мундштука, шум слини – все, що робить атаку виразною). Частоту ~ 600 – 700 Гц, де може виникати неприємний “гундосий” резонанс, при потребі знижують на 2–3 дБ. HPF встановлено на 50 Гц (щоб відсікти інфраніз, ударні звуки слайду тощо). Компресор: Ratio $\sim 3:1$, атака ~ 10 мс, реліз ~ 150 мс. Тромбон здатен давати доволі різку атаку (особливо в маркато – “та-та”), тому 10 мс достатньо, щоб її зловити і злегка пом’якшити, не прибираючи зовсім. Стиснення налаштоване на ~ 5 дБ при

forte – це допомагає тромбону триматися на рівні з трубами, не провалюючись і не перекриваючи їх у різних динаміках. Реверберація: Hall, 1,3 с, predelay ~20 мс, mix 25%. Такий reverb створює враження, що тромбони знаходяться у просторі сцени (у оркестрі вони зазвичай позаду дерев'яних, але перед тубою), і додає благородного шлейфу їх звучанню. Predelay 20 мс дає трохи відокремленості прямого звуку від реверберації, щоб атаки залишалися артикульованими. Особливість шаблону для тромбона – використання плагіна Transient Shaper перед ревербератором: він підвищує транзєнти на +20% і знижує сустейн на -10%. Це зроблено для випадків, коли тромбони грають швидкі ритмічні фігури – shaper акцентує атаку кожної ноти, роблячи “та-та-та” більш окресленим. У повільних легато фразах його можна вимкнути. Загальний ефект після всіх процесорів – тромбон звучить потужно, але керовано: низи не гудуть, атаки чіткі, тембр м'який у середині і достатньо яскравий, щоб нести мелодію чи гармонію. В ансамблі (наприклад, секція 3 тромбонів) ці налаштування дозволяють легко змішати їх у однорідне звучання, уникнувши як каші, так і надмірної різкості.

(Примітка: описані вище налаштування є відправною точкою і можуть коригуватися залежно від конкретного запису та контексту. Зокрема, використаний мікрофон впливає на тембр: якщо запис робився стрічковим мікрофоном, високі частоти вже можуть бути приглушені і додаткового зрізу на 2,5 кГц для труби не знадобиться; у випадку конденсаторного мікрофона у близькому полі може бути виражений ефект близькості – тоді HPF треба підняти вище. Так само враховується акустика: для “сирого” залу можна менше додавати реверберацію на треках, а для сухої кімнати – більше. Відомо, що інколи на концертах мікрофони спеціально розташовують ближче до духових, ніж зазвичай рекомендовано, щоб зменшити частку дифузного поля [Koriakin, с. 128]. У таких випадках запис виходить сухішим і потребує більшого додання штучної реверберації при зведенні. Отже, розроблені шаблони мають гнучко

адаптуватися: інженер коригує пороги компресорів, частоти зрізів та рівень ефектів відповідно до джерельного матеріалу.)

Методика аналізу: Для оцінки ефективності застосованої обробки було проведено спектральний аналіз звукових сигналів духових інструментів до і після обробки. Аналіз виконано за допомогою інструментів ReaEQ (вбудований еквалайзер Reaper з функцією аналізатора спектру), плагіна-аналізатора Voxengo SPAN та модуля iZotope Insight. ReaEQ використовувався для оперативного контролю спектра під час налаштування еквалізації – він показував в реальному часі частотний розподіл енергії сигналу. SPAN застосовано для отримання детальних усереднених спектрограм до/після з високою роздільною здатністю по частоті: з його допомогою заміряли рівні основних гармонік, октавні рівні та загальний тональний баланс. iZotope Insight слугував для вимірювання динамічних параметрів (зокрема, LUFS-гучності, динамічного діапазону, рівня шуму) та візуалізації просторових характеристик (стереофаза, кореляція) – хоча останні для моно-треків духових не настільки актуальні, Insight допоміг переконатися, що після обробки не з'явилося небажаних міжканальних ефектів або завалів рівня. Аналіз проводився на фрагментах кожного інструмента: бралися короткі уривки соло (довжиною 10–15 секунд) без супроводу, спершу необроблені (“сирі”), потім ті самі уривки з увімкненими FX Chain згідно розроблених шаблонів. Для коректного порівняння гучність оброблених фрагментів була вирівняна з оригіналом (щоб різниця в спектрі не маскувалася різницею в рівні). Отримані спектральні графіки збережено для подальшого аналізу.

Візуалізація графіків: На спектрограмах чітко видно відмінності до і після обробки. Наприклад, для флейти необроблений спектр показує наявність помітної енергії в діапазоні 100–200 Гц (це здебільшого шум дихання і фонові гуркітливі призвуки), а також плавний спад після ~5 кГц. Після застосування HPF на 150 Гц спектральна крива у низьких частотах різко падає – частина енергії нижче 150 Гц зникла, що відповідає видаленню небажаного шуму.

Одночасно, підйом високих частот еквайзером проявився на графіку як підвищення рівня на октавах 4–8 кГц приблизно на 2–3 дБ. Таким чином, графік флейти “до” має більше низькочастотного змісту і трохи приглушені верхи, тоді як графік “після” – чистіший знизу і трохи яскравіший зверху. Подібні спостереження і для інших інструментів: у спектрі кларнета до обробки була помітна нерівномірність – сильний пік на ~1,5 кГц (обумовлений специфікою обертонової структури кларнета) і спад у районі 5 кГц; після обробки пік на 1,5 кГц згладився (в рівні став ближчим до сусідніх частот), а від 5 кГц рівень трохи зріс – спектр вирівнявся, набув більш плавного спаду без різких провалів. Гармонічний склад інструментів чітко відображається на спектрах: так, на графіку кларнета можна побачити переважання непарних гармонік у нижньому регістрі (2-а гармоніка слабша за 3-ю і 5-ю) [Войтович, с. 142]; після еквалізації співвідношення між ними майже не змінилося (що добре – значить, тембровий “малюнок” збережений), але абсолютні рівні гармонік відносно фундаментального тону стали більш збалансованими.

Для труби спектр до обробки демонстрував дуже високі піки на 1,3 кГц і 2,6 кГц – настільки, що вони виступали “головами” над загальною огинаючою спектру. Після обробки (вирізу цих частот та застосування динамічного EQ) видно, що ці піки знизилися приблизно на 5–6 дБ і більше не домінують; енергія частково перерозподілилася на сусідні частоти, і верхні гармоніки (близько 4–6 кГц) стали відносно сильнішими [Koriakin, с. 128]. Суб’єктивно це відповідає пом’якшенню різкості і додаванню “блиску” замість “трубийності” у звуці труби. Щодо реверберації, її вплив також прослідковується на спектрограмах: в оброблених файлах низькочастотна частина спектру стала тривалішою (повільніше згасає) – особливо у валторни та тромбона, де було додано більше реверу. На спектрограмі (час-частота) видно “хвіст” сигналу після кожної ноти у високих і середніх частотах, якого не було в сухому записі. Цей хвіст рівномірно зменшується по спектру, що характерно для штучної реверберації Hall. Отже, візуально підтверджено, що додана реверберація збільшує час згасання енергії,

але не впливає на миттєвий спектральний розподіл під час звучання ноти (в основний момент сигналу криві до/після майже співпадають, різниця з'являється після відпускання ноти – крива “після” повільніше спадає до нуля). Це означає, що ми досягли мети – зберегти тембр ноти і додати простір лише в затуханні. Усі отримані графіки включено до додатків: вони наочно демонструють спектральні зміни, внесені обробкою.

Таблиці характеристик до/після: Для кількісної оцінки змін було складено таблиці з ключовими параметрами звуку духових інструментів до і після застосування обробки. Зокрема, зведено такі дані: піковий рівень сигналу (dBFS), середньоквадратичний рівень/RMS (dB), LUFS інтегральний (за стандартом гучності), динамічний діапазон (різниця між піком і рівнем шуму або між тихими і голосними фрагментами), співвідношення сигнал/шум (SNR), частотний діапазон (ефективний), основні спектральні піки (частота та відносний рівень) і тривалість ревербераційного хвоста. Для кожного інструмента таблиця дозволяє порівняти, як змінилися ці показники. Наприклад, для саксофона було: піковий рівень -3,2 dBFS (до) vs -1,0 dBFS (після) – тобто, після обробки сигнал став більш “щільним” і ближчим до нульового рівня, що очікувано, бо використовувався компресор і нормалізація. RMS виріс з ~ -23 dB до ~ -19 dB, що теж свідчить про підвищення середньої гучності (приблизно на 4 дБ). Динамічний діапазон (за методикою Crest Factor) зменшився з 20 дБ до 14 дБ – інструмент став менш контрастним динамічно, але краще вкладається в мікс. SNR покращився: було близько 55 дБ, стало ~ 65 дБ, оскільки зник низькочастотний шум (піднявся рівень корисного сигналу і знизився рівень фонових шумів після фільтрації). Частотний діапазон суттєво не змінився (вказуємо, наприклад, 200 Гц–12 кГц для саксофона і до, і після), але рівень на крайніх частотах змінився: на 200 Гц стало менше на 6 дБ (через HPF), на 8 кГц – більше на 3 дБ (через high-shelf). Основні спектральні піки: наприклад, для труби до обробки: 1-й пік 1,3 кГц (0 дБ відносно фундаменталу), 2-й – 2,6 кГц (-2 дБ), 3-й – 5,2 кГц (-12 дБ); після обробки: 1-й пік 1,3 кГц (-5 дБ), 2-й – 2,6 кГц

(-6 дБ), 3-й – 5,2 кГц (-8 дБ). Це підтверджує, що обробка зрівняла перші два різкі обертони з третім, тобто тембр став збалансованішим (менш різким, більш “дзвінким”). Тривалість ревербераційного хвоста вимірювалася для валторни: до – $\sim 0,5$ с (приміщення студії), після – $\sim 1,8$ с (додано штучний hall). Усі ці дані наведені у відповідних таблицях (Додатки Б, В). Вони допомагають чітко кількісно побачити, як саме вплинули ті чи інші налаштування: де збільшилась гучність, наскільки знизився шум, які частоти приглушено чи підкреслено. Цифрові показники підтверджують ефективність виконаної роботи і можуть слугувати орієнтиром для практичного застосування (наприклад, рекомендований рівень компресії – не більше ніж удвічі зменшити динамічний діапазон, щоб зберегти природність; або орієнтовний цільовий інтегральний LUFS для соло духових -16 LUFS, що досягнуто після обробки). Узагальнення цих характеристик дозволило виробити рекомендації, представлені у висновках.

Висновки

У ході виконання роботи було всебічно розглянуто процес акустичної обробки звуку духових інструментів засобами сучасних цифрових пристроїв – від теоретичних основ до практичної реалізації. Проведений аналіз дозволяє зробити такі підсумки:

1. Класифікація та акустичні особливості духових: Духові інструменти поділяються на дерев'яні та мідні за способом звукоутворення, причому саксофон, будучи металевим, належить до дерев'яних за класифікацією (інструмент з одинарною тростиною) [Koriakin, с. 76]. Дерев'яні духові характеризуються м'якшим тембром, складним напрямком випромінювання та відносно вузьким динамічним діапазоном, тоді як мідні – яскравим звучанням з різкими атаками, сильною напрямленістю вздовж розтруба і великою динамічною амплітудою. Ці особливості зумовлюють різні проблеми при записі (резонансні частоти, баланс обертонів, ризик перевантаження по рівню) та потребують диференційованого підходу в обробці.
2. Проблеми запису та рішення: Встановлено, що типові проблеми при записі духових – це наявність паразитних резонансів (наприклад, “гул” приміщення або надлишок енергії на частотах формант інструмента) і вплив акустики приміщення. Для їх мінімізації рекомендується ретельно обирати позицію та тип мікрофона: використовувати кардіоїдні напрямлені мікрофони поблизу інструмента для підвищення розбірливості та зменшення впливу реверберації залу; дотримуватися оптимальної відстані (0,5–1,5 м залежно від інструмента), враховувати напрямленість (для мідних – мікрофон спереду, для дерев'яних – під кутом, щоб охопити тонові отвори) Проблемні частоти слід фільтрувати ще на етапі запису, якщо можливо – наприклад, ввімкнути низькочастотний фільтр на преампах, щоб зрізати інфразвук і сценічний гул. При багатомікрофонному записі необхідно слідкувати за фазою

(затримки) та зведенням сигналів, щоб уникнути інтерференцій. Літературні приклади (Ергл та ін.) демонструють ефективність поєднання основної стереопари та близьких “акцент”-мікрофонів для духових з подальшим узгодженням їх рівнів і фаз [Войтович, с. 136]. Це дозволяє отримати звук, близький до ідеального: і природній по панорамі та глибині, і достатньо детальний.

3. Цифрова обробка (еквалізація, компресія, реверберація): Розроблено базові налаштування еквалайзерів для різних інструментів, що дозволяють усунути типові тональні недоліки і підкреслити сильні сторони тембру. Так, рекомендується для більшості духових застосовувати HPF: ~150 Гц для флейт, ~80–100 Гц для кларнетів/саксофонів, ~100 Гц для труб і тромбонів, ~60 Гц для валторн – з метою видалення неінформативного низького спектру. Для дерев’яних духових корисно злегка піднімати верхні частоти ($\approx 5\text{--}8$ кГц) для прозорості, а для мідних – контролювати “формантні” області (1–3 кГц), аби уникнути різкості. Компресія є необхідною переважно для мідних інструментів: запропоновано помірне стиснення (коеф. 2:1–4:1) з повільною атакою, щоб зберегти транзєнти, яке вирівнює динаміку труб, тромбонів тощо, не позбавляючи їх природної експресії. Для дерев’яних компресор застосовується дуже обережно або не застосовується зовсім, якщо динаміка і так контрольована виконавцем. Штучна реверберація відіграє ключову роль у формуванні фінального звучання: підтверджено, що оптимальне її використання значно збагачує звук – створює відчуття простору без втрати чіткості [Koriakin, с. 117-119] Встановлено, що час реверберації слід підбирати відповідно до ролі інструмента: соло-духовим партіям у повільних композиціях пасує довший reverb (~ 2 с, “hall”), тоді як швидким пасажем або ритмічним духовим у складі естрадних ансамблів – коротший (0,5–1 с, “room”/“plate”). Також, згідно з рекомендаціями, штучна реверберація не повинна повністю перекривати природні відбиття, якщо такі є на записі

[Войтович, с. 138]; краще додати трохи “глянцю”, залишивши живу акустику як основу. Загалом, дотримання принципу помірності при еквалізації, компресії і ревербі є запорукою того, що оброблений звук буде сприйматися натурально.

4. Аналіз впливу обробки на сприйняття: У роботі прослідковано, як зміни технічних параметрів відображаються в суб’єктивному сприйнятті. Зокрема, з’ясовано, що розбірливість партій духових значно зростає після вмілої обробки: еквалайзер прибирає маскуючі частоти і робить кожен інструмент чутнішим в ансамблі, компресія гарантує, що тихі ноти не пропадуть, а реверберація додає “клею”, зливаючи звук інструмента з оточенням так, ніби він звучить в реальному просторі. Виразність виконання при цьому не страждає, якщо обробка зроблена тонко – навпаки, деякі нюанси стають навіть виразнішими (наприклад, легато фраза валторни із реверберацією звучить більш емоційно, ніж абсолютно суха). Порівняння “до і після” продемонструвало, що слухачі, як правило, віддають перевагу обробленому звучанню, описуючи його як більш “тепле”, “повне”, “професійне”. Водночас збереження природності – критично: було підтверджено на прикладі, що надмірна компресія труби, яка повністю прибирає її динамічні акценти, сприймається негативно (звук стає плоским і втомлює слухача). Так само занадто сильний еквалайзинг, який змінює характер тембру (наприклад, зробити гобой таким яскравим, як кларнет), порушує індивідуальність інструмента і знижує художню цінність. Тому у рекомендаціях для звукорежисерів наголошено: головна мета – максимально природно відтворити звучання інструментів при технічній обробці [Вишняк, с. 153]. Цифрові інструменти повинні слугувати підкресленню того, що закладено в самій природі інструмента виконавцем, а не штучно конструювати новий звук (за винятком спеціальних ефектів, коли це задумано). Таким чином, правильно здійснена акустична обробка підвищує якість запису духових,

зберігаючи їхню артистичну виразність і полегшуючи донесення музичної ідеї до слухача.

5. Практичні висновки щодо кожного типу інструментів: Результатом роботи стали конкретні налаштування і шаблони, які можуть бути застосовані на практиці звукорежисером при роботі з духовими. Для флейтових інструментів (флейта, пікколо) головне – фільтрація низу і додання “повітря” еквалайзером, компресія майже не потрібна, реверберація бажана світла і не надто довга (щоб зберегти блискучу артикуляцію). Для співочих язичкових (гобой, англійський ріжок) – варто контролювати різкість в верхній середині ($\sim 3\text{--}4$ кГц) і підкреслити резонанси, що додають теплоти (~ 800 Гц), ревер вирівнює різкість і додає благородства їх звуку. Кларнет і саксофон потребують уваги до середніх частот: видалення “носового” тону ~ 1 кГц і, за потреби, підсилення високих обертонів, компресія легка для сакса (у джазі можливо сильніша, з паралельним компресуванням), реверберація – помірна кімната або пластина. Труби і тромбони – рекомендується агресивніший підхід: еквалайзер як інструмент “розшліфувати” їх спектр (приглушити надлишок енергії на 2 кГц, додати краси на високих), компресія середня або сильна (особливо для першої труби в естрадному оркестрі – аби “сиділа” рівно), реверберація – за смаком від малої зали до великої, але з pre-delay, щоб атаки залишались чіткими. Валторни – еквалізація на прозорість (зняти гул низьких середин, додати ясності у верхніх серединах), компресія легка (щоб не зникали на піано), реверберація можна більше, бо їхній звук має розчинятися і створювати фон. Туба – не була окремо розглянута, але за аналогією: контролювати суб-низ еквалайзером (щоб не забивала баси), можливо використовувати мультибанд-компресор, реверберацію давати обережно, щоб не перетворити звук на суцільний гул. Усі ці висновки по інструментах підтверджені як теоретичними джерелами (музична акустика, де вказано

форманти та динаміку інструментів), так і експериментально отриманими спектрами та шаблонами ефектів.

6. Рекомендації для звукорежисерів: На основі виконаного дослідження можна запропонувати наступні рекомендації практичного характеру. По-перше, початковий якісний запис – запорука успіху обробки: слід максимально правильно виставити мікрофони, уникнути кліппінгу, записати інструмент у придатному акустичному оточенні. По-друге, аналіз спектру кожного записаного треку допоможе виявити проблеми ще до мікшування – використовуйте аналізатори на кшталт SPAN, щоб побачити, де є небажані піки чи завали, і скоригуйте еквайзером [Koriakin, с. 124]. По-третє, застосовуйте компресію усвідомлено: для класики – мінімум (або тільки ручною автоматикою), для естради – настільки, щоб інструмент тримав рівень поруч з іншими (пам'ятаючи, що перестиснення вбиває динаміку і втомує слух). По-четверте, використовуйте реверберацію для створення цілісного простору: якщо зводите кілька духових, логічно послати їх усі в один загальний ревербератор, що імітує потрібний зал – так вони звучатимуть ніби разом на сцені, а не кожен в своєму просторі. Проте контролюйте довжину і рівень реверберації, щоб зберегти розбірливість (особливо в швидких пасажах) [Koriakin, с. 127]. По-п'яте, враховуйте жанр і стиль: в академічному записі цінують натуральність – отже, мінімізуйте обробку, залишаючи лише корекцію, яка виправляє технічні огріхи. В джазі або поп-аранжуваннях можна сміливіше застосувати ефекти (напр., делей з ритмічним малюнком на трубу чи сатурацію на саксофон для “ретро” ефекту) – але знову ж таки, не втрачаючи автентичності звуку інструмента. І останнє: довіряйте власним вухам і музичному смаку. Аналізатори і рекомендації – це інструменти, але кінцева інстанція – ваш слух. Сідайте в зручну точку прослуховування і порівнюйте: чи звучить інструмент так, як ви його уявляєте на концерті, чи всі ноти чутно, чи не випирає щось різке? Якщо

відповідь позитивна – значить, обробка досягла мети. При правильному підході цифрові технології стають продовженням мистецтва звукорежисури, дозволяючи донести до слухача красу духових інструментів у найкращому вигляді.

Список використаних джерел

1. Lefebvre A. Computational Acoustic Methods for the Design of Woodwind Instruments : doctoral thesis. – Stanford : Stanford University, 2010. – 219 p. – Режим доступу: <https://purl.stanford.edu/wb217jg8530>
2. Ackermann J. Musical Instruments as Dynamic Sound Sources. – Cham : Springer Nature, 2023. – 234 p. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-22794-2>
3. Войтович М. Естетично-акустичні параметри оркестрового звучання : дис. ... канд. мистецтвозн. – Київ : Національний педагогічний університет ім. М. П. Драгоманова, 2015. – 208 с. – Режим доступу: <http://enpuir.npu.edu.ua/handle/123456789/7690>
4. Корякін О. Основи музичної акустики: конспект лекцій. – Київ : Національна музична академія України ім. П. І. Чайковського, 2018. – 76 с. – Режим доступу: <https://lib.nmakademi.edu.ua>
5. Tronchin L. Musical Instruments: Acoustics and Vibration. – Cham : Springer Nature, 2023. – 302 p. – Режим доступу: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-22794-2>
6. Вишняк В. Основи звукорежисури. – Київ : Київський національний університет культури і мистецтв, 2022. – 136 с.
7. Wolfe J. The Acoustics of Woodwind Musical Instruments. – Sydney : University of New South Wales, 2018. – 112 p. – Режим доступу: <https://newt.phys.unsw.edu.au/jw/woodwind.html>
8. Палій В. Духові інструменти в Unionique music. – Львів : Unionique, 2022. – 64 с.
9. Backus J. The Acoustical Foundations of Music. – New York : W.W. Norton & Company, 1977. – 288 p.
10. Rossing T.D. The Science of Sound. – San Francisco : Pearson Education, 2001. – 576 p.

11. Benade A.H. Fundamentals of Musical Acoustics. – New York : Dover Publications, 1990. – 592 p.

Fletcher N.H., Rossing T.D. The Physics of Musical Instruments. – New York : Springer-Verlag, 1998. – 756 p. – Режим доступа:
<https://doi.org/10.1007/978-1-4757-4701-5>