Міністерство культури України
Львівська національна музична академія імені М. В. Лисенка

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Войтович Олександр Орестович

УДК 78.51;78.2У

ЕСТЕТИЧНО-АКУСТИЧНІ ПАРАМЕТРИ ОРКЕСТРОВОГО ЗВУЧАННЯ (НА ПРИКЛАДІ КОНЦЕРТНИХ ЗАЛІВ ЛЬВОВА)

17.00.03 – музичне мистецтво

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата мистецтвознавства

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Войтович О. О.

Науковий керівник: **Тракало О. М.**, кандидат фіз.-мат. наук, доцент

Львів – 2018

АНОТАЦІЯ

Войтович Олександр Орестович. Естетично-акустичні параметри оркестрового звучання (на прикладі концертних залів Львова) – кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата мистецтвознавства за спеціальністю 17.00.03 – Музичне мистецтво. – Львівська національна музична академія імені М. В. Лисенка Міністерства культури України, Львів, 2018.

Дисертація присвячена способам та методам естетично-акустичного оцінювання звучання оркестрів в концертних залах наживо та в записі. Результати суб'єктивного оцінювання, виконаного згідно критеріїв встановленого зразка, порівнюються з об'єктивними акустичними параметрами відповідних залів.

Мета дослідження – з'ясувати специфіку естетичного сприйняття звучання оркестрів у львівських концертних залах та оцінити це звучання за допомогою об'єктивних акустичних параметрів і суб'єктивних критеріїв.

У першому розділі описано природу звукових коливань, закони поширення звуку, а також особливості сприйняття звуку людиною. Подано основні характеристики звукових хвиль такі, як частота, амплітуда, період коливань, довжина хвилі, а також – тиск та швидкість. Означено поняття тембру звуку та дифузного поля.

Наведено класифікацію музичних інструментів за джерелом звуку, способом звуковидобування та способом модуляції повітряного потоку. Описано їхні тембральні (спектральні) характеристики. Уведено також поняття частотного і динамічного діапазонів інструментів, напрямленості звучання інструментів, груп інструментів та оркестру з відповідними ілюстраціями.

Також в розділі охарактеризовано закономірності і проблеми поширення звуку в замкнутих приміщеннях. Описано процес формування

звукового поля (образу) в замкнутому середовищі за рахунок таких явищ, як відбиття, затухання, дифракція, інтерференція звукових хвиль, поглинання звукової енергії. В цьому ж підрозділі подано визначення звукового і дифузного полів та описано три підходи для розрахунку їх структури та оцінки акустичних властивостей приміщень: статистичну, геометричну і хвильову теорії.

У другому розділі охарактеризовано об’єктивні параметри акустики концертних залів, зокрема подано їх значення для п’яти вибраних залів Львова, описано суб’єктивні критерії оцінювання звучання оркестрів «наживо» та в записі. Досить велика увага в цьому розділі присвячена проблемам і технікам звукозапису оркестрів у замкнутих приміщеннях, зокрема – різним типам мікрофонів, мікрофонних систем, аналізу мікрофонних сесій для запису симфонічної та камерної музики.

Спочатку здійснено загальний опис таких акустичних параметрів, як час реверберації (RT), час ранніх відбиттів (EDT), рівень басу (BR), відношення ранньої/реверберaційної енергії, силові коефіцієнти (GL, GM), коефіцієнт внутрішньослухової крос-кореляції (IACCE3), час між приходом прямого сигналу та появою перших відбиттів (ITDG), а потім в результаті узагальнення досвіду вибору об’єктивних параметрів для оцінки фізичних якісних показників концертних залів, запропоновано зупинитись на наступних параметрах певних монауральних, бінауральних та сценічних параметрах.

Також у цьому розділі подано відомості про п’ять вибраних для дослідження концертних залів Львова (концертний зал ім. С. Людкевича Львівської національної філармонії, концертний зал Львівського національного академічного театру опери та балету імені Соломії Крушельницької, зал Будинку органної та камерної музики, концертний зал Національного академічного українського драматичного театру імені Марії Заньковецької, великий зал Львівської національної музичної академії імені

М. В. Лисенка), зокрема: форма, геометричні розміри, будівельні матеріали, оздоблення та інтер’єр. Для кожного залу були проведені акустичні заміри та обчислені об’єктивні акустичні параметри, а їх значення були порівняні з рекомендованими.

Оскільки одних лише об’єктивних параметрів виявилось недостатньо, то для повної характеристики якості звучання використовуються ще суб’єктивне оцінювання за критеріями встановленого зразка. Причому, об’єктивні параметри та суб’єктивна оцінка корелюються між собою. Суб’єктивна оцінка акустики концертних залів вимагає вибору методу, критеріїв оцінки та встановлення їх зв’язку з об’єктивними параметрами.

За допомогою трьох методів (стереофонічного порівняння; незалежного прослуховування і прийняття рішення групою експертів; анкетування та інтерв’ювання) та на основі практичного досвіду було відібрано вісімнадцять критеріїв суб’єктивної оцінки, а з них – десять найбільш значущих і незалежних. Це: життєвість, повнота звуку, розбірливість або ясність, інтимність, теплота, просторовість, гучність, баланс, ансамбль, тембр. Також слід враховувати і негативні фактори такі, як луна (відлуння), шуми тощо. Можуть додаватись й інші параметри, такі як однорідність (uniformity), атака (attack), текстура (texture).

Для оцінки записів оркестрів використовують тільки суб’єктивне оцінювання. В роботі запропоновано використовувати однакову термінологію для суб’єктивного оцінювання музичного матеріалу наживо та в записі, за винятком деяких специфічних випадків. Для оцінювання звучання за суб’єктивними критеріями живого звучання та записів автором дисертації розроблена спеціальна анкета.

У третьому розділі представлено результати анкетування у вибраних залах Львова, подано оцінку результатів проведених досліджень та описано кореляцію суб'єктивної оцінки з об'єктивними акустичними параметрами,

розроблені рекомендації щодо виконання і запису музики. Також виконано порівняння архівних та сучасних записів в описаних залах.

Результати дослідження звучання оркестрів у вибраних залах проаналізовані та зображені за допомогою діаграм. Діаграми відображають результати опитування для живого виконання та записів. Також показана кореляція та суб'єктивної оцінки з об'єктивними акустичними параметрами. Суб'єктивне оцінювання в комплексі з об'єктивними акустичними параметрами використано для здійснення повної оцінки акустики концертних залів. Продемонстрована повна підтверджуваність суб'єктивної оцінки об'єктивними акустичними параметрами

На основі отриманих суб’єктивних естетичних оцінок звучання оркестрів у п’ятьох Львівських концертних залах подано рекомендації щодо врахування специфіки і відповідної корекції звукозаписів у цих залах, а також можливої конструктивної (акустичної) корекції самих залів.

У висновках підсумовано та узагальнено результати дослідження. Суб'єктивне оцінювання акустичної якості концертних залів в основному підтверджується об'єктивними акустичними параметрами, тому його застосування можна вважати виправданим. Особливо точне підтвердження (майже повне) воно отримало серед фахівців.

Для вирішення завдань в роботі був застосований єдиний підхід, який об’єднав дослідження особливостей живого звучання та звукозаписів оркестрів в концертних залах на основі явища суб’єктивного сприйняття музичного матеріалу.

Ключові слова: звукова хвиля, об’єктивні параметри, суб’єктивна оцінка, критерії оцінювання, акустика концертних залів, звукове поле, звукозапис, акустична корекція, кореляція, концертний зал, оркестр.

ANNOTATION

Voitovich Oleksandr Orestovych. Aesthetic and acoustic parameters of orchestral sound (on the example of concert halls of Lviv) – Qualifying scientific work as a copyrighted manuscript. Thesis for Candidate degree in Art Studies on specialty 17.00.03 – Musical Art. – The Mykola Lysenko Lviv National Music Academy, Ministry of Culture of Ukraine. – Lviv, 2018.

The dissertation is devoted to modes and methods of aesthetic and acoustic evaluation of sounding orchestras in concert halls live and in recording. The results of the subjective evaluation performed according to the criteria of the established sample are compared with the objective acoustic parameters of the respective rooms.

The purpose of the research is to find out the specifics of the aesthetic perception of the sound of orchestras in the Lviv concert halls and to evaluate this sound with the help of objective acoustic parameters and subjective criteria.

The first chapter describes the nature of sound vibrations, the laws of the propagation of sound, as well as the peculiarities of human perception of sound. The main characteristics of the sound waves are given, such as frequency, amplitude, oscillation period, wavelength, as well as pressure and speed. The concept of sound of sound and diffuse field is indicated.

The classification of musical instruments by source of sound, the method of sound production and the method of modulation of air flow are given. Their timbre (spectral) characteristics are described. The concept of frequency and dynamic ranges of instruments, direction of sounding instruments, groups of instruments and orchestra with corresponding illustrations is also introduced.

Also, the section describes the patterns and problems of sound propagation in enclosed spaces. The process of formation of the sound field (image) in a closed environment is described, due to such phenomena as reflection, damping, diffraction, interference of sound waves, absorption of sound energy. The same section describes the sound and diffuse fields and describes three approaches for

calculating their structure and estimating the acoustic properties of the premises: statistical, geometric and wave theory.

The second section describes the objective parameters of the acoustics of the concert halls, in particular, their values for the five selected halls of Lviv are described, subjective criteria for evaluating the sound of orchestras live and in the recording are described. A great deal of attention in this section is devoted to problems and techniques of sound recording of orchestras in enclosed spaces, in particular - different types of microphones, microphone systems, analysis of microphone sessions for recording symphonic and chamber music.

First, a general description of such acoustic parameters as the reverberation time (RT), the time of the early reflections (EDT), the bass level (BR), the ratio of the early / reverberate energy, two power factors (GL, GM), the intra-listening cross-correlation factor (IACCE3), the time between the arrival of the direct signal and the appearance of the first reflections (ITDG), and then in as a result of the generalization of the experience of choosing objective parameters for assessing the physical qualitative indices of the concert halls, is proposed ed to stay on these specific parameters monaural, binaural and stage settings.

Also in this section are information about the five selected for the study of concert halls of Lviv (Concert Hall of Lviv National Philharmonic Hall, concert hall of the Lviv National Academic Theater of Opera and Ballet named after Solomiya Krushelnytska, Hall of the House of Organ and Chamber Music, concert hall The National Academic Ukrainian Drama Theater named after Maria Zankovetska, a large hall of the MV Lysenko Lviv National Music Academy), in particular: form, geometric sizes, buildings and materials and interior decoration. Acoustic measurements were performed for each room and objective acoustic parameters were calculated, and their values were compared with the recommended ones.

Since only objective parameters were insufficient, for a full description of the quality of sound, a subjective evaluation based on the criteria of the sample

was used. Moreover, objective parameters and subjective evaluation are correlated with each other. Subjective assessment of acoustics of concert halls requires the choice of method, criteria for evaluation and establishing their connection with objective parameters.

Eighteen subjective evaluation criteria were selected using three methods (stereophonic comparison, independent listening and decision-making by a group of experts, questionnaires and interviews), and on the basis of practical experience, eight of the most significant and independent were selected. These are: liveness, fullness of sound, clarity or clarity, intimacy, warmth, spaciousness, loudness, balance, ensemble, timbre. Also, negative factors such as echo, noise, etc. should also be taken into account. Other parameters can be added, such as uniformity, attack, texture.

Only subjective evaluation is used to evaluate orchestral records. It is proposed to use the same terminology for subjective evaluation of musical material live and in the recording, except for some specific cases. A special questionnaire was developed for the evaluation of sound by subjective criteria of live sound and records by the author of the thesis.

The third section presents the results of the survey in the selected halls of Lviv, evaluates the results of the conducted researches and describes the correlation of subjective assessment with objective acoustic parameters, developed recommendations for the performance and recording of music. A comparison of archival and modern records in the described halls has also been performed.

The results of the study of the sound of orchestras in the selected halls are analyzed and depicted using diagrams. Diagrams represent the results of the survey for live performances and records. Correlation and subjective estimation with objective acoustic parameters are also shown. Subjective evaluation in combination with objective acoustic parameters is used to make a complete

assessment of the acoustics of concert halls. The complete confirmation of subjective estimation by objective acoustic parameters is demonstrated

Based on the received subjective aesthetic assessments of the sound of orchestras in five Lviv concert halls, recommendations are given for taking into account the specifics and corresponding correction of sound recordings in these halls, as well as possible constructive (acoustic) correction of the halls themselves.

The conclusions summarize and summarize the results of the study. Subjective evaluation of acoustic quality of concert halls is mainly confirmed by objective acoustic parameters, therefore its application can be considered as justified. Particularly accurate confirmation (almost complete) it was received among specialists.

To solve problems in the work, a unique approach was applied that combined the study of the peculiarities of live sound and recordings of orchestras in concert halls on the basis of the phenomenon of subjective perception of musical material.

Key words: sound wave, objective parameters, subjective assessment, evaluation criteria, concert hall's acoustics, sound field, sound record, acoustic correction, correlation, concert hall, orchestra.

Список опублікованих праць за темою дисертації:

1. Войтович О. Критерії оцінювання звучання оркестру в концертних залах. *Українська музика:* Науковий часопис ЛНМА ім. М. В. Лисенка. Львів, 2018. Ч. 3(29). С. 94–98.
2. Войтович О. Критерії оцінки художньої якості звукового матеріалу в епоху цифрових технологій. *Українська культура: минуле, сучасне, шляхи розвитку:* наукові записки Рівненського державного гуманітарного університету: Збірник наукових праць. Рівне: ППДМ, 2015. Вип. 21. С. 194–197.
3. Войтович О. Об’єктивні параметри та їх суб’єктивні кореляти в оцінці акустики концертних залів. *Наукові збірки Львівської національної музичної академії ім. М.В.Лисенка. Музикознавчі студії – 2015:* збірка статей. Львів, 2015. Вип. 36. С. 213–226.
4. Войтович О. Формування тембру оркестрів у концертних залах. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка.* Серія: Мистецтвознавство. Збірник наукових праць. Тернопіль: Видавничий відділ ТНПУ, 2'2016. Вип. 35. С. 97–102.
5. Voitovich A. Subjective Assessment of the Sound of Orchestras (on the example of the Concert Hall of the Lviv Philharmonic named after S. Lyudkevich), *Austrian Journal of Humanities and Social Sciences*. 2017, Vol. 5–6, May–June, P, 15–24.

ЗМІСТ

ВСТУП 13

РОЗДІЛ 1. МУЗИЧНА АКУСТИКА. ПОШИРЕННЯ ЗВУКОВИХ ХВИЛЬ В ЗАМКНУТИХ ПРИМІЩЕННЯХ 21

1.1. Звукові хвилі. Особливості сприйняття звуку людиною 21

1.2. Акустика музичних інструментів 38

1.3. Основи акустики концертних залів.....47

РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ ЗВУЧАННЯ ОРКЕСТРІВ У ЛЬВІВСЬКИХ КОНЦЕРТНИХ ЗАЛАХ В ЖИВОМУ ВИКОНАННІ ТА В ЗАПИСІ 62

2.1. Об’єктивні параметри оцінки акустики концертних залів та характеристики вибраних залів Львова.....62

2.2. Критерії суб’єктивної оцінки звучання оркестрів наживо та в записі800

2.3. Особливості звукозапису в концертних залах 96

РОЗДІЛ 3. СИСТЕМАТИЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРОВЕДЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО КОРЕКЦІЇ АКУСТИКИ ТА ЗВУКОЗАПИСУ.....124

3.1. Результати анкетування у вибраних залах Львова.....124

3.2. Порівняння звучання творів та записів у вибраних залах 131

3.3. Кореляція суб'єктивної оцінки з об'єктивними акустичними параметрами 138

3.4. Рекомендації щодо звукозапису і акустичної корекції.....148

3.4.1. Концертний зал Львівської філармонії 149

3.4.2. Зал Львівської опери 153

3.4.3. Будинок органної та камерної музики 157

3.4.4. Зал театру імені Марії Заньковецької 160

3.4.5. Великий зал Львівської національної музичної академії імені М. В. Лисенка.....163

ВИСНОВКИ.....167

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....175

ДОДАТКИ 194
Додаток до розділу 1 194
Додаток до розділу 2 195
Додаток до розділу 3 203
Перелік записів львівських студій прослуханих та оцінених експертними групами 222
Дискографія прослуханих архівних записів Львівської телерадіокомпанії ..224

ВСТУП

Актуальність дослідження. За період своєї еволюції людство створило багато мистецьких шедеврів. Постійний потяг до вдосконалення втілився в архітектурних формах, що повинні були забезпечити контакт слухача з виконавцем та відображати дійсність у звукових художніх образах. Що стосується концертних залів, то їх архітектура сягає античних часів. Досконало відомо про вплив приміщення на якість виконання та сприйняття музики та співу. Звучання оркестру, хору чи органа в концертному залі з хорошою акустикою показує наскільки велика роль акустичних властивостей приміщення в процесі формування просторового звукового образу.

Поява звукозапису на початку XX сторіччя дала можливість зберігати аудіопродукт на носіях з подальшим відтворенням. Науково-технічний прогрес вплинув на активне впровадження новітніх технологій, особливо цифрових, у сферу звукозапису. Поширеною є думка, що студійний звукозапис своєю довершеністю та «прилизаністю» створює досконалий у всіх відношеннях аудіопродукт [5, с. 22; 6; 37, с. 173] позбавлений життя через відсутність шарму живого виконання та контакту музикантів із публікою [9, с. 129; 23, с. 426], який є інформацією-нагадуванням [23, с. 16], сурогатом та безбарвною копією [25, с. 63], репродукцією [31, с. 28], що не можна сказати про концертне виконання. Однозначно можна стверджувати, що концертні записи мають характер історично задокументованої мистецької події зі збереженням її ореолу [14, с. 102; 32, с. 31]. Побутують думки, що звукозапис подібний до композиторської партитури [19, с. 9]. Завданням звукозапису на сучасному етапі є відтворення та передача всіх нюансів звучання музики в концертних залах та «перенесення» слухача безпосередньо на місце події [115, с. 18]. Без перебільшення можна сказати, що звукозапис – це соціально значуще явище, яке становить важливий культурологічний аспект і належить до області музичного мистецтва [27, с.

10; 32, с. 32]. Це знайшло відображення в синтетичних видах мистецтва театру, кіно, естради, що утворені єдністю художньої мови.

Дослідження звучання та звукозапису оркестрів у концертних залах тісно пов'язане з їх акустикою. Поряд з об'єктивними акустичними параметрами такими як: час реверберації, структура резонансних частот, час і напрямок ранніх відбиттів, отриманих в результаті хвильової, статистичної та геометричної теорій аналізу акустичних особливостей концертного залу, вагоме місце займає суб'єктивна оцінка акустики приміщення. Значних результатів у цій галузі досягнули американський акустик Лео Беранек (Leo Beranek), німецький акустик Манфред Шредер (Manfred Schroeder) та японський дослідник Такаюкі Хідака (Takayuki Hidaka) та ін.

Суб'єктивна оцінка акустики приміщення вимагає вибору методу оцінки, критеріїв оцінки та встановлення її зв'язків з об'єктивними параметрами. Методика оцінювання живого звучання в нашому випадку зводиться до трьох методів. Це: 1) метод стереофонічного порівняння; 2) метод незалежного прослуховування і прийняття рішення групою експертів; 3) метод анкетування та інтерв'ювання, з подальшою обробкою результатів.

Одна із перших спроб вивести критерії суб'єктивного оцінювання була зроблена Л. Беранеком. Автор виділив десять критеріїв оцінки живого звучання оркестрів. Це життєвість (*liveness*), повнота звуку (*fullness*), розбірливість або ясність (*definition, clarity*), інтимність (*intimacy*), теплота (*warmth*), просторовість (*spaciousness*), гучність (*loudness*), баланс (*balance*), ансамбль (*ensemble*), тембр (*timbre*). Також слід враховувати і негативні фактори такі, як луна (відлуння), шуми тощо [61, с. 20-35].

В оцінюванні якості аудіоматеріалу прийнято опиратись на вимоги, розроблені на основі рекомендацій IRTO (*International Radio and Television Organization*; або OIRT – *Organisation Internationale de Radiodiffusion et Télévision*), які можна викласти в десяти пунктах. А саме: 1) просторове враження (*spatial impression*); 2) прозорість (*definition, transparency*); 3)

музичний баланс (*musical balance*); 4) тембр (*timbre, sound color*); 5) стереофонічний ефект або стереовраження (*stereo effect*); 6) художня якість, виконання (*artistic quality, performance*); 7) звукорежисерська техніка (*sound engineering*); 8) аранжування (*arrangement*); 9) динамічний діапазон (*dynamic range*); 10) шуми, перешкоди (*noises, barriers*) [126, с. 43-44].

У даний час мотивація вибору концертного залу для виконання музики різних жанрів зумовлюється далеко не лише відомостями про його акустичні характеристики. Продюсери та імпресаріо схильні частіше враховувати багато інших факторів. Не на останньому місці стоїть і орендна плата. Також велику роль відіграє історико-культурне значення конкретного концертного залу. Переглядаючи афіші різних заходів у концертних залах міста Львова, можна спостерігати розмаїтість виконавців різних стилів і напрямів, що дає широкий вибір львівському шанувальнику класичної, джазової, популярної та іншої музики. Але, по-перше, різні оркестри (музичні колективи, ансамблі) будуть по-різному звучати в одному й тому самому залі; по-друге, один і той самий оркестр звучатиме по-різному в різних залах.

Прослуховуючи записи оркестрів у львівських концертних залах, можна помітити, що вони зроблені, здебільшого, львівськими рекордінговими студіями, які мають відносно невеликий досвід роботи, а саме близько двадцяти років. Всі вони постали із аматорських студій. Деякі з них досягли успіхів у цій сфері і котуються серед закордонних музичних продюсерів, диригентів, музикантів. Найбільший досвід звукозапису має студія Львівської телерадіокомпанії, яка від початку свого заснування займалась записами класичної музики для радіотрансляцій. Також у наявності є чимала колекція відеоматеріалу. На жаль, серед відібраних записів повністю відсутні для порівняння записи таких великих брендів, як RCA, Bell Labs, Millenia Media, Mercury, Water Lily Acoustics, M•A

Recordings, Opus 3, Elite Recordings, TELARC, Deutsche Grammophon, Abbey Road, EMI, Decca Records Philips та ін.

Важливість вміння професійно оцінити живе звучання та запис оркестрів у концертних залах, зокрема у львівських, за критеріями встановленого зразка та відсутність досліджень на цю тему у вітчизняній музичній науці зумовлює **актуальність** обраної теми дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами планами, темами. Дисертація виконана на кафедрі історії музики Львівської національної музичної академії імені М. В. Лисенка відповідно до плану наукових робіт і є частиною комплексної теми № 6 «Музично-виконавська творчість: теорія, історія, практика» перспективного тематичного плану науково-дослідницької діяльності Львівської національної музичної академії імені М. В. Лисенка на 2014–2019 рр. Тему затверджено на засіданні Вченої ради академії (протокол засідання № 2 від 30 червня 2015 року).

Мета дослідження – з'ясувати специфіку естетичного сприйняття звучання оркестрів у львівських концертних залах та оцінити це звучання за допомогою об'єктивних акустичних параметрів і суб'єктивних критеріїв.

Об'єктом дослідження є звучання оркестру в умовах акустики замкнутих приміщень.

Предметом дослідження – звучання оркестрів у львівських концертних залах наживо і в записі.

Відтак головними **завданнями дослідження** стало**:**

- сформулювати базові принципи акустики концертних залів;
- визначити об'єктивні параметри оцінювання акустики концертних залів;
- сформувати критерії суб'єктивної оцінки звучання оркестрів наживо і в записі та розробити анкету для опитування експертів;
- окреслити особливості звукозапису в концертних залах;
- провести оцінювання звучання оркестрів у львівських концертних залах в живому виконанні та в записі;

- порівняти результати суб’єктивної естетичної оцінки з об’єктивними акустичними характеристиками;
- за результатами отриманої естетичної оцінки подати рекомендації щодо корекції акустики вибраних залів та процесу звукозапису в них.

Матеріалами дослідження слугували живі концерти, записи з архівів Львівської телерадіокомпанії та Львівських студій звукозапису, приватні колекції музикантів.

Методи дослідження. Для розв’язання поставлених завдань та досягнення мети роботи використано такі методи: аналітичний – у вивченні наукової літератури; теоретичний – для визначення спеціальної термінології, опису явищ, що мають місце під час проведення досліджень, параметрів за якими здійснюється суб’єктивна оцінка; емпіричний – при прослуховуванні та звукозапису оркестрів у концертному залі з подальшою експертною оцінкою результатів; компаративний – у процесі порівняння результатів досліджень; методи аналізу і синтезу – для опрацювання результатів дослідження, а також метод інтерв’ювання – для отримання інформації від музикантів та активних слухачів.

Теоретичну базу дисертації склали:

- праці в області музичної акустики (І. А. Алдошина, Ш. Я. Вахітов, А. П. Єфімов, А. Бенаде (A. Benade), А. Гаде (A. C. Gade), Л. Кінслер (L. Kinsler), В. Кугль (W. Kuhl),Р. Ліндсей (R. B. Lindsay), Дж. Пірс (J. Pierce) та ін.);
- праці в галузі акустики музичних інструментів та інструментознавства (В. І. Кожухар, Л. А. Кузнєцов, Т. Россінг (T. Rossing) та ін.);
- праці з психоакустики (Я. А. Альтман, Я. Ш. Вахітов, Х. Р. Шиффман, Дж. Ангус (J. Angus), Дж. Блауерт (J. Blauert), Д. Говард (D. Howard), Д. Редерер (J. Roederer), Е. Цвікер (E. Zwicker) та ін.);
- принципи сучасної звукорежисури та звукозапису (І. Вєпрінцев, Д. Галкін, В. Г. Дінов, А. Зєлєніна, Б. Я. Меєрзон, А. Нісбетт, А. В.

Сєвашко, П. Уайт (P. White), Г. Баллоу (G. Ballou), Б. Бартлет (B. Bartlett), Т. Бейтс (T. Bates), Б. Бауер (B. Bauer), М. А. Білінгслей (M. A. Billingsley), Б. Овсінский (B. Owsinski), Д. Геніган (J. Hannigan), Дж. Іргл (J. Eargle) та ін.);

- об'єктивні методи дослідження акустики замкнутих середовищ (М. Баррон (M. Barron), Т. Камісіньський (T. Kamisiński), Р. І. Кінаш, А. Куловський (A. Kulowski), Л. Маршал (L. Marshall), М. Морімото (M. Morimoto), В. Агнерт (W. Ahnert), В. Шмідт (W. Schmidt), Л. Беранек (L. Beranek), В. Сабіне (W. Sabine) та ін.);
- дослідження у сфері зв'язку суб'єктивних критеріїв оцінки якості звучання музики та об'єктивних властивостей замкнутих середовищ (М. Баррона (M. Barron), Л. Беранек (L. Beranek) Дж. Бланкеншіп (J. Blankenship), А. Хайдака (A. T. Hidaka), Фішетті (A. Fischetti), М. Шредер (M. Schroeder) та ін.).

Наукова новизна дослідження полягає у спробі дати естетичну оцінку звучанню оркестрів наживо та в записі в концертних залах міста Львова за критеріями встановленого зразка шляхом наукового дослідження явища суб'єктивного сприйняття музичного матеріалу.

Відтак у дисертації вперше:

- запропоновано єдиний підхід до аналізу просторового звукового образу при звучанні наживо та в записі;
- проведено порівняння звучання однакових творів у вибраних залах, а також сучасних записів із архівними;
- сформульовано рекомендації щодо звукозапису оркестрів у концертних залах Львова.

Набуло подальшого розвитку:

- вибір критеріїв для суб'єктивного оцінювання звучання оркестру.

Доповнено:

- дослідження впливу акустичного середовища на звучання оркестру та звукозапис в концертних залах Львова.

Практичне значення дослідження. Результати роботи можуть бути використані в курсах лекцій з музичної звукорежисури та музичної акустики. Рекомендації щодо звучання та звукозапису оркестрів в концертних залах міста Львова можуть допомогти в корекції акустики концертних залів, виборі способів звукозапису та у плануванні проведення концертів.

Особистий внесок здобувача. Основні результати отримані дисертантом самостійно. Уперше проведено дослідження за оригінальною методикою, що об'єднує живе звучання та записи оркестрів. Запропоновану методику можна використовувати в подальших дослідженнях. Здійснено естетичну оцінку звучання оркестрів, сформульовано рекомендації щодо покращання акустичних умов концертних залів та способів звукозапису.

Апробація результатів дослідження. Основні теоретичні положення та висновки дослідження були оприлюднені на таких наукових конференціях: Всеукраїнська науково-практична конференція молодих науковців «Музикознавчі студії» (ЛНМА імені М. В. Лисенка, 25-26 лютого 2015 р., м. Львів), Міжвузівська науково-практична конференція «Стратегічні перспективи розвитку соціально-комунікативної діяльності : теорія, практика й інновації» (ЛФ КНУКіМ, 21 квітня 2015 р., м. Львів), XI Всеукраїнська науково-практична конференція «Культура як феномен сучасного глобалізованого суспільства» (РДГУ, 12-13.11.2015 р., м. Рівне), Міжнародна наукова конференція молодих музикознавців «Музикознавчі студії – 2016» (ЛНМА імені М. В. Лисенка, 24-26 лютого 2016 р., м. Львів), XII Міжнародна науково-практична конференція «Культурний вектор розвитку України початку XXI століття: реалії і перспективи» (РДГУ, 10-11 листопада 2016 р., м. Рівне), Міжнародна науково-практична конференція «Український джаз на перехресті культур: сучасний стан, тенденції та

перспективи» (ЛНМА імені М. В. Лисенка, 2-4 грудня 2016 р., м. Львів), Міжнародна наукова конференція «Музикознавчий універсум молодих» (ЛНМА імені М. В. Лисенка, 1-2 березня 2017 р., м. Львів), XIII Міжнародна науково-практична конференція «Євроінтеграційні процеси в сучасній Україні: культурно-мистецькі аспекти розвитку» (РДГУ, 16-17 листопада 2017 р., м. Рівне), Міжнародна науково-практична конференція «Український джаз на перехресті культур: сучасний стан, тенденції та перспективи» (ЛНМА імені М. В. Лисенка, 1-5 грудня 2017 р., м. Львів).

Публікації. Основні результати дисертаційного дослідження викладено у 5 одноосібних публікаціях, з яких 4 – у фахових виданнях, затверджених ДАК МОН України, 1 стаття – в іноземному фаховому виданні.

Структура дисертації. Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 210 позицій та трьох додатків. Загальний обсяг 240 сторінок. Обсяг основного тексту становить 174 сторінки, додатки – 45 сторінок.

РОЗДІЛ 1. МУЗИЧНА АКУСТИКА. ПОШИРЕННЯ ЗВУКОВИХ ХВИЛЬ В ЗАМКНУТИХ ПРИМІЩЕННЯХ

1.1. Звукові хвилі. Особливості сприйняття звуку людиною

Музична акустика є одним із напрямків науки акустики. Акустика це наука про звук, назва якої походить від грецького слова акуо (áχουω) – чую [2, с. 11]. Сучасна музична акустика вивчає проблеми генерування звукових хвиль, звукопередачі, сприйняття звуку слуховою системою людини і, відповідно, містить такі напрямки, як акустика музичних інструментів, акустика мови та співу, архітектурна акустика, електроакустика та психоакустика [2, с. 15; 55, с. 3].

Звук – це коливальний рух частинок пружного середовища, що поширюється у вигляді хвиль. Процес поширення звукових коливань називають звуковою хвилею. Основними фізичними характеристиками звуку є: частота, довжина хвилі, амплітуда, тембр. Частота – це кількість коливань за 1 секунду (вимірюється в Гц). Довжина хвилі – це відстань між двома точками середовища з однаковими фазами (одиниця виміру – м). Частота і довжина хвилі взаємопов'язані. Чим менша довжина хвилі λ – тим більша частота ν. Частота відповідає за висоту звуку. Чим більша частота звуку, тим він вищий. Амплітуда – це максимальне відхилення частинок пружного середовища від положення рівноваги (одиниця виміру – м). Чим більша амплітуда коливань, тим звук гучніший. Тембр звуку визначається обертонами та призвуками, що входять у спектр звуку. Окрім того важливими характеристиками звукової хвилі є: 1) швидкість хвилі – це відстань, яку проходить хвиля за 1 с (вимірюється в м/с); 2) інтенсивність – кількість звукової енергії за одиницю часу (1 с), що припадає на одиницю площі. Інтенсивність – зведений та більш ємнісний параметр звуку, ніж амплітуда, тому саме він використовується, як основний (одиниця виміру Вт/м^2) [15, с. 5-18; 29, с. 5; 55, с. 10].

Таким чином, з одного боку, звук – це передача енергії механічних коливань частинок в пружному середовищі, з іншого боку – це тільки ті коливання які чує людина. [2, с. 11]. Утворюють або генерують звукові хвилі пружні тіла. У випадку музичних інструментів – струна (хордофони), мембрана (мембранофони), стовп повітря (аерофони), саме тіло інструмента (ідіофони). Людський голос теж утворює звукові коливання за допомогою голосових зв'язок. Музичні інструменти утворюють періодичні звукові коливання. Шум – це також звукові коливання. Та на відміну від коливань, які утворюють музичні інструменти, ці коливання неперіодичні і тому не мають визначеної висоти. Виняток становлять деякі ударні інструменти, які не мають певної вираженої висоти звучання. Поширення звукових хвиль відбувається в пружному середовищу, а у випадку звучання музики під час концерту – у повітрі. Сприйняття звуку починається з коливань, які надходять у слухову систему людини, після чого починається складний процес обробки та передачі інформації до кори головного мозку.

Взагалі більшість звуків, які зустрічаються в природних умовах є коливаннями дуже складної форми, що характеризується багатьма складовими, а саме: здебільшого це коливання неперіодичні, звучать у широкому спектрі частот, за своїми спектральними характеристиками можуть значно перевищувати можливості людського вуха. Такі звукові хвилі є сумою (суперпозицією) хвиль різної частоти. Власне ця суперпозиція хвиль різної частоти надає чутному звуку забарвлення, яке називають тембром.

За частотними характеристиками акустичної хвилі розрізняють: простий тон, складний тон і шум.

Простий тон – це синусоїдальні коливання. Їх випромінюють, наприклад, звукові генератори і камертон.

Складний тон, буває гармонічним і негармонічним. Гармонічний складний тон має визначену звуковисотність, тобто складається з основного

тону та обертонів. Такі звуки дають музичні інструменти. Тембр звуку, тобто співвідношення обертонів та основного тону надає кожному музичному інструменту своє характерне звучання. Негармонічний складний тон має приблизно визначену звуковисотність, що складається з основного тону та негармонічних обертонів.

Шум поділяється на білий та кольоровий. Білий шум – це хаотичні коливання, спектральні складові яких розміщуються рівномірно по всьому діапазону. Кольоровий шум – це хаотичні коливання, спектральні складові яких розміщуються нерівномірно по всьому діапазону, як правило з поступовим зменшенням інтенсивності від низьких до високих.

Всі звукові хвилі визначаються своїми амплітудно-частотними характеристиками (АЧХ)[1]. Виняток становлять шуми, які характеризуються випадковою зміною амплітуди і частоти [1, с. 71].

Проблемами сприйняття звуку людиною займається такий розділ акустики, як психоакустика [38, с. 492]. Відчуття, що викликають звукові хвилі в психіці людини, напряму залежать від фізичних параметрів джерела звуку. Близько 30% інформації людина отримує за допомогою своєї слухової системи, яка є одним із сенсорних органів людини. Звукова хвиля, що діє на слухові органи людини характеризується об’єктивними параметрами, тобто фізичними властивостями, які було описано вище і які можна виміряти за допомогою приладів. У свою чергу ця звукова хвиля викликає відчуття, які можна охарактеризувати як *суб’єктивні* параметри. До них належать *гучність*, *висота, тембр, локалізація в просторі, характер коливань* (мова, музика, шуми). Взаємозв’язок між суб’єктивними відчуттями та об’єктивними параметрами описує психофізичний закон Вебера-Фехнера, який ґрунтується на нелінійності цих зв’язків. Згідно цього закону, відчуття

---

[1] Залежність амплітуди від частоти в часі.

пропорційні відносній зміні об’єктивного параметра і залежать від деякого коефіцієнта «k», який можна визначити з відношення об’єктивних параметрів. Наприклад, для гучності $k=\Delta I/I$, де I – інтенсивність звуку. Величину k назвали константою Вебера, і ця константа є різною для різних видів суб’єктивних відчуттів. На основі цієї залежності Фехнер отримав логарифмічне співвідношення між фізичними параметрами та величиною суб’єктивного відчуття: $S = k \times lg\, I$, де S – величина відчуття [38, с. 77-79].

Проблемами обробки інформації, яка надходить від органів слуху, також займається музична психологія, і це пов’язано з обробкою інформації у вищих сферах слухової системи та головного мозку. Наприклад, асоціативне та емоційне сприйняття музики, формування музичного образу [2, с. 98].

Слухову систему людини можна поділити на периферійну та вищу [2, с. 102]. Функції периферійної – прийняти та перетворити звукову інформацію, а функції вищої – обробити ці дані й на їх основі прийняти відповідне рішення.

Для локалізації джерела звуку велику роль відіграє вушна раковина, яка міняє амплітудно-частотну характеристику звуку на вході до неї (порівняно з АЧХ у вільному полі)[1]. Вушна раковина змінює характеристику сигналу в частотній смузі 3-10 кГц і таким чином формує напрямленість слуху. Це важливий фактор, який разом з іншими впливає на локалізацію джерела звуку в горизонтальній та вертикальній площинах. До інших параметрів належать різниця інтенсивності звукових коливань у двох вухах та різниця в часі приходу звукової хвилі до них. Усе це разом дає можливість людині помітити зміни локалізації джерела звуку в межах 3º в горизонтальній площині і близько 10-15º у вертикальній [38, с. 577].

---

[1] Вільним звуковим полем називають таке поле, в якому переважають прямі звукові хвилі, а відбиті хвилі відсутні або ними можна знехтувати [7, с. 134].

Слухова система людини має обмеження у сприйнятті, тобто існують певні слухові пороги. Це стосується динамічного та частотного діапазонів. Динамічний діапазон людського слуху визначається різницею у сприйнятті найтихіших звукових коливань та коливань, які передують так званому больовому порогу. Частотний діапазон визначається нижньою та верхньою граничними частотами, які сприймає слух людини. Існують абсолютні та диференційні слухові пороги [38, с. 56]. Абсолютні визначаються мінімальним значенням об’єктивних параметрів звуку, при яких виникають слухові відчуття. Диференційні передбачають здатність слухової системи реагувати на невеликі зміни в об’єктивних параметрах.

Слухова система людини реагує на мінімальні звукові коливання інтенсивністю 10^{-12} Вт/м^2 (тиск $p_н = 2 \times 10^{-5}$ Па). Цей рівень визначається як 0 дБ. Максимальний допустимий рівень становить близько 120 дБ (тиск $p_в$ = 20 Па). Больовим порогом вважається рівень 130 дБ. Тобто, слух людини має дуже великий динамічний діапазон. На сьогодні таким динамічним діапазоном не володіє жоден канал звукопередачі. Щодо частотного діапазону, то людина здатна розрізняти коливання частотою 20 – 20000 Гц. Звичайно, з віком здатність людського слуху змінюється. Це пов’язано зі змінами у внутрішньому вусі. Час дії звукової хвилі на слухову систему людини також належить до об’єктивних параметрів [38, с. 526].

Абсолютні слухові пороги залежать від часу дії звукового сигналу і зростають при зменшенні часу дії звукової хвилі на сенсорні органи слуху людини. Вони стабілізуються тільки після збільшення часу дії звукового сигналу понад 250 мс. Цей процес називають часовою інтеграцією людського слуху. Слухова система людини повинна набрати певну кількість енергії для того, щоб спрацювання сенсорні органи, а це залежить від часу дії звукової хвилі.

Абсолютні слухові пороги також залежать від частоти звуку. Найвища чутливість проявляється при частоті 4 кГц. При високих рівнях звуку у

людини виникають відчуття, які називають порогом неприємного відчуття (близько 100 дБ), порогом «свідомості» (близько 120-130 дБ), больовим порогом (близько 130-140 дБ) [2, с. 116]. При довготривалих діях високих рівнів звуку у слуховій системі людини можуть відбутися незворотні процеси, що може призвести до повної втрати слуху. Музиканти та звукорежисери також частково відносяться до цієї зони ризику, адже, як уже зазначалось вище, динамічний діапазон звучання симфонічного оркестру досягає 120 дБ (в межах ppp – fff). Динамічний діапазон звучання рок концерту або рейв-вечірки сягає далеко за межі допустимих норм.

Із плином часу людина втрачає чутливість в області високих частот. Але для досвідчених музикантів та звукорежисерів це явище не стає на заваді професійної діяльності, адже основна енергія музичних звуків сконцентрована в діапазоні близько 80 – 8000 Гц.

Роздільну здатність слухової системи за амплітудою, частотою та тривалістю звуку визначають диференційні слухові пороги (*JND-just noticeable difference*) [38, с. 540]. Амплітудні диференційні слухові пороги суттєво залежать від частоти. На середніх частотах значення їх найменші – близько 0,8 дБ (500-4000 Гц). По краях слухового діапазону вони зростають і становлять близько 1,3 дБ при загальному рівні гучності 60 дБ. Крім того, вони сильно залежить від загального рівня сигналу: чим гучнішій сигнал тим меншу різницю можна почути і навпаки. Ця умова виконується для двох синусоїдальних сигналів однакової частоти, але різної амплітуди коливання. При амплітудно-модульованому звуковому сигналі вимірюють найменші значення тиску звукової хвилі, при яких коливання звуку стають помітними. На основі цих даних були отримані криві залежності роздільної здатності слухової системи за амплітудою від частоти при різних рівнях гучності. Криві вказують також на сильну залежність від рівня гучності звуку. В результаті для чистих тонів із рівнем звукового тиску 40 – 80 дБ амплітудні диференційні слухові пороги становлять 0,5-1 дБ в області середніх частот.

Результати узагальнені для обох способів вимірювання. Для амплітудної модуляції використовувалась частота 4 Гц.

Частотні диференційні слухові пороги також суттєво залежать від самої частоти, рівня гучності та тривалості звукових сигналів. Їх визначають двома способами. Перший – шляхом подачі двох синусоїдальних сигналів однакової інтенсивності, один з яких міняється за частотою. Різницю частот двох сигналів зменшують аж до порогу реагування слухової системи. Експерименти проводять для різних частот та різних рівнів звуку. Другий спосіб – шляхом частотної модуляції з мінімальними змінам частоти основного вихідного сигналу. Різницю в частоті зменшують аж до порогу реагування слухової системи. Експерименти також проводять для різних частот та різних рівнів звуку. Узагальнені результати показують, що на частоті до 1 кГц частотний диференційний слуховий поріг (Δf) становить близько 2-3 Гц. (приблизно 5 центів в розмірах музичних інтервалів) і зростає при збільшенні частоти [2, с. 116].

Часові диференційні слухові пороги визначають здатність людського слуху розрізняти малі зміни в часовій структурі звукового сигналу. Для визначення мінімального часу, при якому слух здатний почути різницю між двома звуковими сигналами, використовують дві послідовні подачі тону. Експериментально встановлений диференційний поріг становить близько 2 мс. Однак для визначення, котрий із сигналів приходить перший витрачається 20 мс. Для фонем час розпізнавання становить 35 мс. Для визначення висоти тону потрібно близько 60 мс для низьких частот і близько 15 мс – для високих. Для визначення диференційної чутливості до тривалості звуку використовують дві подачі сигналів різної тривалості. Сигнали надходять у випадковому порядку. Найменшу різницю приймають за диференційний поріг для тривалості звукового сигналу (ΔT). ΔT має тенденцію до зменшення при зменшенні загальної тривалості звукового

сигналу і становить 50 мс при довжині сигналу 950 мс та 0,5 мс при довжині сигналу 0,5 мс [2, с. 117].

У чутливості слуху важливу роль відіграє чутливість до динамічних змін в структурі звукового сигналу. Це дуже характерно для звучання музичних інструментів. Основними характеристиками є: атака, спадання, сустейн (тривалість) та реліз (час на відновлення). Досліди показали, що диференційний слуховий поріг для часу атаки (τ мс), отриманий шляхом подачі тональних сигналів прямокутної форми, становить 1мс для частот до 1 кГц і 0,5 мс для частот вище за 1 кГц. Це стосується також і часу спадання сигналу. Реальні музичні сигнали мають дещо більший час атаки і спадання. Також музичні сигнали мають властивість маскувати один одного, що збільшує час їхнього розпізнавання.

У чутливості слуху важливу роль відіграє також чутливість слуху до фазових змін. Фазові зміни впливають на тембр, на визначення висоти тону. Дослідження показали, що диференційний слуховий поріг є найбільш чутливим до швидкості зміни фази сигналу. Зміни фази можуть мати як характер спотворень (ГЧЗ[1]), так і використовуватись в якості художньої обробки звуку (ефект фейзер). Спотворення ГЧЗ повинні становити менше 1мс. на частоті 2 кГц для високоякісної апаратури [2, с. 119].

Суб’єктивне відчуття, що дозволяє слуховій системі розташовувати звуки за певною шкалою – від звуків низької інтенсивності («тихих») до звуків великої інтенсивності («голосних»), – називається *гучністю* [2, с. 119].. Гучність, крім інтенсивності, також залежить від частоти, спектрального складу, тривалості та форми звукового сигналу. Гучність характеризує суб’єктивні відчуття слухача і тому не може бути виміряна ніякими приладами. Вона може бути тільки описана самим слухачем.

---

[1] ГЧЗ – груповий час затримки.

Наприклад «тихо», «дуже тихо», «голосно», «середня гучність» [38, с. 542]. Такий опис буде використаний нами у подальших дослідженнях.

Розрізняють гучності тональних та шумових звуків. Рівні гучності визначаються експериментально. Вони зображені кривими однакової гучності для різних значень рівня сигналу на Рис. 1.1.

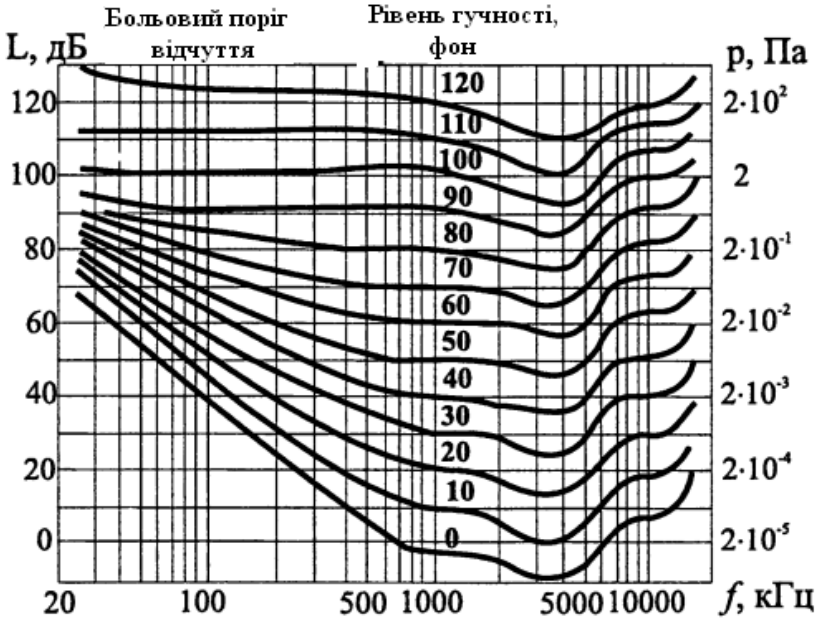


Рис. 1.1. Криві однакової гучності для різних значень рівня сигналу (Алдошина И, Притс Р. Музыкальная акустика)

Із цих кривих видно, що для того, щоби звук з частотою 100 Гц здавався таким самим за гучністю, як звук з частотою 1 кГц з рівнем 40 дБ, його рівень має бути вищим на 50 дБ. Ці криві були вперше отримані в результаті експериментів у 1933 р. вченими Флетчером і Мансоном.

Під рівнем гучності звуку розуміють рівень звукового тиску еталонного звуку на частоті 1 кГц, рівного даному за гучністю. Рівень гучності вимірюється в спеціальних одиницях – фонах[1] [2, с. 121].

---

[1] Для кількісної оцінки абсолютної гучності використовується спеціальна одиниця «сон» (гучність в 1сон – це гучність синусоїдального звуку з частотою 1кГц і рівнем 40 дБ).

З кривих видно, що при малих рівнях звукового тиску рівень гучності дуже залежить від частоти. При підйомі рівня тиску крива рівня гучності вирівнюється.

Ця властивість слуху має велике значення і буде використана в наших дослідженнях для прослуховування музичного матеріалу в контрольній кімнаті. Кожна фонограма повинна звучати з однаковим рівнем гучності, прослуховуватись з одних і тих самих контрольних агрегатів. Експерти повинні перебувати у визначеній зоні для прослуховування.

Відчуття гучності залежить від довжини сигналу. Два одночасні сигнали однакової інтенсивності не будуть відчуватись однаковими за гучністю, якщо один із них буде коротшим у часі. Відчуття гучності зростає при збільшенні довжини сигналу. Після 200 мс зростання довжини сигналу не впливає на відчуття збільшення гучності.

Слухова система людини також володіє властивістю адаптації. Під час дії на слухову систему постійно гучних, довготривалих звуків відчуття гучності потроху втрачається. Слух, як кажуть, адаптується. Степінь адаптації тим більша, чим більший звуковий сигнал. При зменшенні гучності звукового сигналу слух також поволі адаптується. Після припинення звучання відчуття звуку не пропадає одразу і триває ще близько 35 мс. Таке відчуття називається часовою константою (сталою) слуху [2, с. 123].

Одною з важливих властивостей слухової системи є також ефект маскування, пов'язаний із взаємодією сигналів, коли один сигнал на тлі іншого може зникати. Тобто слух змінює свою чутливість до одного із сигналів більше, ніж до другого. Таким чином, є той сигнал, що маскує і той що маскується. Розрізняють одночасне (монауральне) маскування та часове (неодночасне) маскування. В першому випадку сигнали діють одночасно, в другому – один може випереджати або відставати. Степінь маскування в другому випадку дуже залежить від розриву в часі між двома сигналами. У

цих двох випадках сигнали подаються в одне й те саме вухо. У випадку коли сигнали подаються в різні вуха ефект маскування називається бінауральним[1] або центральним. Існує ще ефект бінаурального демаскування, коли із загального звукового фону людина може виділити звуковий сигнал, який її цікавить [38, с. 550].

Якщо на слуховий апарат людини діє звукова хвиля досить високого рівня гучності з частотою f_0, то в людини виникає відчуття, що звучить не один звук а два. Причому, відчувається, що звучить октава, або й дві октави. Такі явища пояснюються нелінійністю людського слуху. У даному випадку – це поява так званих «суб'єктивних», або «слухових» гармонік. У процесі обробки звукової хвилі в слуховому апараті людини відносно частоти f_0 виникають гармоніки цього звуку з частотами $2f_0$, $3f_0$ і т. д. Якщо до зовнішнього звуку додається ще один звук, частота якого наближається до частоти першого, то виникнуть так звані «биття» з різницевою частотою. Амплітуда биттів буде найбільшою при співпадінні рівнів додаткового сигналу та другої гармоніки основного тону [38, с. 549]. Аналогічні явища виникають також і з третьою гармонікою. Якщо звучать два звуки, то можуть виникнути так звані комбінаційні звукові тони. Частота їх буде становити різницю та суму частот основних сигналів (f_2-f_1, f_2+f_1). Проявляють себе і кубічні комбінаційні тони ($2f_2$-f_1, $2f_2$+f_1, $2f_1$-f_2, $2f_1$+f_2) [8, с. 91].

Слуховий апарат людини складається із двох приймачів звуку, що дає можливість просторової локалізації звукових джерел. Цю властивість називають «*бінауральним*» слухом людини. Інформація поступає в обидва слухові канали, обробляється в периферійній частині слухової системи, потім поступає в кору головного мозку де обробляється, аналізується, і на

---

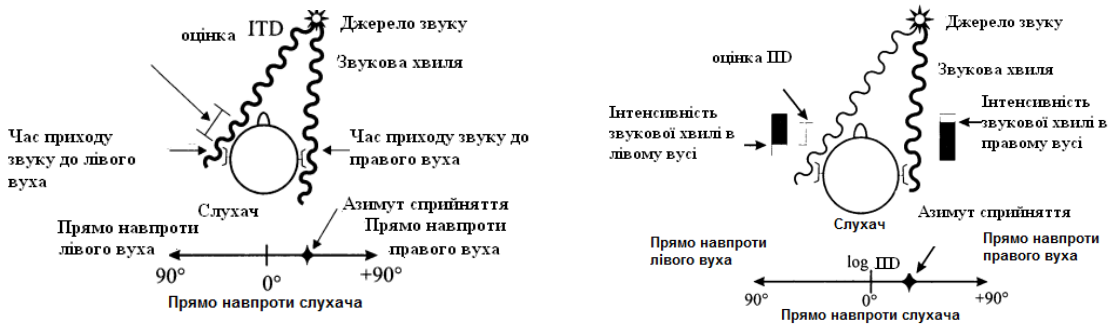
[1] Бінауральний – від лат. *bini* – два і лат. *auris* – вухо.

основі цієї інформації, отриманої з двох джерел, формується просторовий слуховий образ [38, с. 569]. Наявність бінаурального слуху забезпечує людині локалізацію джерел, розподіл джерел у просторі, виділення одного джерела на загальному фоні. Локалізація джерел допомагає сформувати просторову перспективу, так звану «глибину», розподіл більше впливає на «ширину» (стереобаза), виділення джерела допомагає почути прямі сигнали на фоні загального дифузного поля, що присутнє в замкнутих приміщеннях, концертних залах зокрема.

Бінауральна просторова локалізація – дуже важлива властивість людського слуху. Наприклад під час звучання симфонічного оркестру в концертному залі слухач може розділяти розташування музичних інструментів у площині, відчувати ширину та глибину музичного звукового образу. Ця суб’єктивна властивість людського слуху перебуває у взаємодії із об’єктивними параметрами концертних залів, що і становить частину наших досліджень.

Механізми локалізації джерел звуку в горизонтальній і вертикальній площинах мають суттєві розбіжності. У горизонтальній площині, якщо джерело знаходиться справа, то звукова хвиля повинна пройти більшу відстань до лівого вуха, ніж до правого. Тому виникає деяка різниця в часі за рахунок різниці шляхів перебігу звукової хвилі. Звуки середніх та низьких частот мають довжину хвилі більшу за діаметр голови людини, і тому за рахунок дифракції, огинаючи перешкоду, потрапляють частково у ліве вухо. Звуки високих частот, довжина хвилі яких менша за діаметр голови, навпаки, попадають в область «акустичної тіні», яка зменшує інтенсивність звуку, що потрапляє у ліве вухо. За рахунок цих інтерференцій виникає різниця інтенсивності звуку на обох вухах, що дає можливість локалізувати звук за часовим (*Interaural Time Difference* – ITD) та інтенсивнісним (*Interaural Intensity Difference* –IID) факторами [2, с. 147].

Локалізація звуку відбувається також за третім фактором – спектральним. Вона досягається внаслідок потрапляння звукової хвилі у вушні раковини, які мають складну форму. Звукова хвиля внаслідок складної форми та широкого спектру частот неоднаково сприймається лівою і правою половинами слухової системи, які від народження людини зазнають змін. Високочастотні та низькочастотні складові звукової хвилі по різному потрапляють у вушні раковини.



а б

Рис. 1.2. Механізми локалізації в горизонтальній площині(а – ITD, б – IID) (Howard D., Angus J. Acoustics and Psychoacoustics)

Загалом слух людини здатний локалізувати джерело звукового сигналу до 3º у горизонтальній площині. Цю величину вважають кутовою або бінауральною роздільною здатністю слуху. Тобто людина здатна розрізняти зміщення по горизонталі на 3º, але точність визначення коливається в межах 12º в передній півплощині. У задній півплощині точність локалізації є ще меншою.

Здатність локалізації джерела у вертикальній площині є набагато меншою, ніж в горизонтальній і складає близько 10-15º, що пов’язано також із формою вушних раковин та їх орієнтацією на джерело звуку [38, с. 577].

Глибинна локалізація (оцінка відстані до джерела звуку) також є гіршою, ніж в горизонтальній площині. При переміщенні джерела звуку вглиб (по прямій) на 50-150 см похибка оцінювання складає 15-30%. Точність глибинної локалізації значно підвищується в замкнутих

приміщеннях. У замкнутих приміщеннях міняється співвідношення енергії прямих та відбитих хвиль при переміщенні джерела звуку в глибину. Також міняється час між прямим звуком та ранніми відбиттями, що й допомагає краще визначити відстань до джерела.

Визначення висоти звуку також є дуже важливою властивістю слухової системи людини. Вона дає можливість людині виділяти та класифікувати звуки. Ця властивість лежить в основі сприйняття музичного матеріалу.

«Висота (*pitch*) – це атрибут слухового відчуття, в термінах якого звуки можна розмістити за шкалою від низького до високого» [2, с. 155]. Висота, в основному, залежить від частоти звукового стимулу, а також частково від інтенсивності звукового сигналу і форми звукової хвилі. Слухова система людини здатна розрізняти висоту тільки періодичних звукових сигналів. Якщо звуковий сигнал складної форми то слухова система може визначити його висоту за основним тоном, якщо він періодичний, а спектр складається з обертонів кратних основному тону. Частота звукового сигналу та висота тону перебувають в нелінійній залежності. Одиницею виміру висоти тону є *мел*. Приймають, що висота звуку в 1000 мел відповідає частоті звукового сигналу в 1000 Гц при рівні сигналу в 40 дБ.

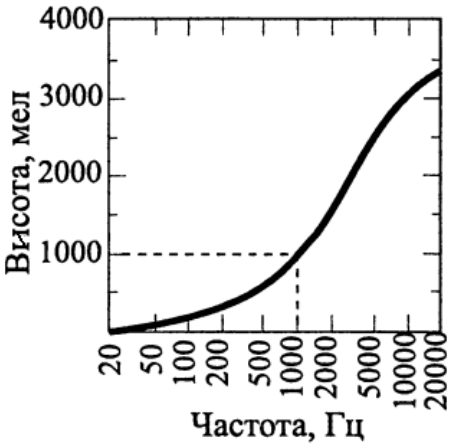


Рис. 1.3. Залежність висоти тону від частоти звуку (Howard D., Angus J. Acoustics and Psychoacoustics)

Із рис. 1.3 видно, що при зростанні частоти втричі (від 1 кГц до 3 кГц) висота зростає вдвічі (від 1000 мл до 2000 мл). Нелінійність особливо виражена на низьких і середніх частотах. Залежність висоти тону від частоти перебуває в логарифмічній залежності Н (мел) = lg f (Гц). Така шкала залежності висоти тону від частоти звуку називається *психофізичною шкалою*. При встановленні абсолютних та диференційних частотних порогів виявлено, що в діапазоні нижче 500 Гц людина розрізняє близько 140 градацій висоти тону, а в діапазоні 500-16000 Гц близько 480 градацій (всього 620 градацій) [2, с. 156]. В інструментах з рівномірно темперованою шкалою для настроювання використовується 96 градацій висоти тонів.

Відчуття висоти тону також пов’язане з інтенсивністю і тривалістю звуку. При підвищенні інтенсивності звуки низького діапазону «занижують», а високого – «завищують» своє звучання. В середньому діапазоні (1-2 кГц) вплив інтенсивності малопомітний. Для коротких звуків висоту важко встановити. Для низьких частот розпізнавання починається від тривалості звуку 60 мс, для середніх частот (1-2 кГц) – приблизно від 15 мс. Для звуків складної форми цей час збільшується [38, с. 548].

В музиці прості синусоїдальні тони майже не використовуються. Відомо, що музичний тон переважно складається з основного тону і його гармонік. Висота йому присвоюється за частотою основного тону. В музиці для оцінки висоти використовують інтервали. Їх зв'язок із психофізичною шкалою висоти тону неоднозначний. Для звуків до 5 кГц для того, щоби почути інтервал ч. 8, потрібно подвоїти частоту. Наприклад, перехід від A_1(440 Гц) до A_2(880 Гц) на фортепіано. Відчуття приросту на октаву для звуків вище 5 кГц не зовсім співпадає з подвоєнням частоти. Для пояснення сприйняття висоти як простих, так і складних звуків використовують дві теорії: «теорія місця» і «часова теорія» [2, с. 158].

У звучанні музичних інтервалів та акордів слухова система людини розрізняє «консонанси» і «дисонанси». Причина полягає у здатності слуху

до спектрального аналізу та визначення частотних інтервалів між гармоніками і пов’язана з наявністю *критичних смуг* у слуховій системі [38, с. 556].

У звукоряді звуки розташовуються в певному порядку, зазвичай у висхідному. Тональна музика, своєю чергою, вимагає для своїх побудов звуків з чітко вираженою висотою тону. Переважно музичні інструменти використовують вібратори, які створюють періодичні коливання, а резонансні частоти перебувають у кратних співвідношеннях. Більшість музичних інтервалів можна отримати зі співвідношень між звуками обертонового ряду у вигляді відношень їх частот. Наприклад, 2/1 – октава, 3/2 – квінта, 4/3 – кварта, 5/4 – велика терція, 6/5 – мала терція, 7/6 – зменшена терція і т. д [2, с. 169]. Відношення частот, яке відповідає кожному інтервалу, називають його інтервальним коефіцієнтом. Гармоніки на шкалі за частотою можна розташувати як в лінійній, так і в логарифмічній залежності. Використання останньої дасть можливість показати рівність тих інтервалів, які слухом визначаються як однакові. Наприклад октави 100/200 Гц і 1000/2000 Гц. Оскільки висота тону сприймається пропорційно до логарифму частоти (психофізичний закон Вебера-Фехнера), то і музичні інтервали сприймаються відповідно до їх відстаней за логарифмічною шкалою частот і відповідають слуховому механізму аналізу висоти музичного тону.

До числа важливих суб’єктивних характеристик звукового сигналу також належить *тембр* (*timbre*) [2, с. 181]. Тембр передусім залежить від спектру звукового сигналу. Кожен музичний інструмент має свій спектр частот, що є його об’єктивною характеристикою. Цей спектр частот діє на слухові органи людини і, таким чином, дозволяє впізнавати тембр інструмента [15, с. 16].

Аналіз показує, що при відсутності або нестачі обертонів (особливо у нижньому регістрі) тембр звуку стає «порожній», ненасичений. І навпаки, за

наявності перших п’яти, семи гармонік тембр стає повним, насиченим. Підвищення амплітуди верхніх гармонік надає тембру різкості. Суттєвий вплив на формування тембру музичних інструментів мають формантні ділянки (смуги). Тембр залежить від гучності звуку і міняється зі зміною висоти тону. При підвищенні гучності до 90 дБ тембр стає насиченим, повним. При подальшому підвищенні гучності у слуховій системі людини починається спотворення тембру.

На формування тембру вплив має також і динамічна складова звукового сигналу (атака і спад). Для більшості музичних інструментів час атаки звуку становить десятки мілісекунд. За цей час відбувається розгортання спектральних складових тембру. Слух сприймає поступове розширення тембру за рахунок появи все нових обертонів, у кожного з яких своя динамічна складова. Такий процес має місце для кожного інструмента і є також важливим у розпізнаванні його тембру.

Окрім того, для розпізнавання музичного інструмента має значення шумовий призвук, присутній під час атаки звуку, причина якого полягає в негармонічності обертонів (удар молоточка, щипок струни, шум смичка, тощо) залежно від способу звуковидобування.

На формування тембру впливають також і фазові зсуви між складовими спектру. При звучанні музичного інструмента фазові співвідношення обертонів міняються між собою, змінюючи таким чином загальну тембральну картину. Якщо фазові співвідношення між обертонами стають випадковими, то хвильова структура звуку суттєво змінюється, і висота тону стає непевною [2, с. 190].

В замкнутих приміщеннях дифузне поле[1] зумовлює зміни у фазових

---

[1] Дифузне звукове поле – це таке звукове поле, в якому густина звукової енергії в кожній точці однакова, а напрямки приходу енергії в кожну точку поля є рівно ймовірними [7, с. 272].

співвідношеннях між прямими та відбитими звуковими хвилями, що, у свою чергу, впливає на формування тембру музичного інструмента. Цей ефект може бути причиною різних оцінок звучання при, наприклад, різних позиціях музиканта на сцені та слухача в концертному залі. Також дифузне поле впливає на процес звукозапису і зумовлює відмінність записів, зроблених через мікрофони, розміщені безпосередньо біля інструмента чи над оркестром, від тих, що виконані через мікрофони, розміщені в партері. У всіх випадках тембр буде мінятись, оскільки чим ближче до джерела звуку встановлений мікрофон, тим вища регуляризація фаз між обертонами і тим чіткіша висота тону, чим далі – тим рівніший тембр і менш чітка висота [13, с. 100].

1.2. Акустика музичних інструментів

Музичний інструмент – це механіко-акустичний перетворювач, у якому під дією зовнішніх сил відбуваються вібрації пружних тіл і випромінювання звукової хвилі в навколишній простір [2, с. 201]. Музичний інструмент складається з генератора коливань (система збудження коливань), вібратора (основна частина інструмента, де генеруються коливання), резонатора (підсилювач коливань). Основними способами збудження коливань є удар (поштовх), щипок і тертя. Під час удару має місце миттєве прикладання сили з передачею енергії коливному тілу й подальшим згасаючим процесом коливань. Під час тертя тіло, яке збуджує коливання (наприклад, смичок) та вібратор (струна) знаходяться в безпосередньому контакті. В якості підсилювачів-резонаторів використовують тіла, які забезпечують ефективне випромінювання звукової енергії в навколишній простір.

За типами вібраторів музичні інструменти поділяють на: хордофони (в якості вібраторів використовуються струни – роялі, арфи, гітари, скрипки тощо), мембранофони (вібраторами є натягнуті мембрани – барабани,

литаври і т. д.), аерофони (звук виникає за рахунок коливання стовпів повітря у трубах – кларнети, флейти, органи, саксофони та ін.), ідіофони (вібраторами є самі тіла інструментів – ксилофон, маримба, дзвіночки, тарілки і т. п.)[1].

За конструкцією та способом звуковидобування музичні інструменти поділяють на: струнно-смичкові та струнно-щипкові, клавішно-ударні та струнно-ударні, дерев'яні духові, мідні духові, клавішно-щипкові, ударні та електронні [2, с. 205].

Інструменти симфонічного оркестру поділяють на групи: група дерев'яних та мідних духових інструментів, група струнних інструментів, група ударних інструментів, група електронних інструментів [26, с. 6].

У духових музичних інструментах (аерофонах) джерелом звуку є коливання повітряного стовпа. Генерування енергії у них відбувається за рахунок енергії стиснутого повітря в легенях музиканта (або у спеціальному повітродувному механізмі в органу) [26, с. 62, 121; 28, с. 276].

За способом модуляції (переривання) повітряного потоку духові інструменти поділяють на лабіальні (*airreed* – флейти, сопілки, окарини тощо), тростинові (*mechanical reed*) та амбушурні (*lipreed*). Тростинові поділяються на інструменти з одинарною тростиною (*single mechanical reed*) – кларнет, саксофон, язичкові труби органу, та подвійною тростиною (*double mechanical reed*) – гобой, фагот, які традиційно зачисляють до групи дерев'яних музичних інструментів (*woodwind*). Амбушурні інструменти – це інструменти з лійкоподібними мундштуками (труба, валторна, тромбон,

---

[1] Така класифікація інструментів є найбільш поширеною. Вона була запропонована В. Майоном в 1888 р і детально розроблена Е. фон Горнбостелем та К. Заксом в 1914 році . [26, с. 36].

туба) їх ще називають мідними (*brasswind*), позаяк виготовляються із латуні (сплаву міді й цинку).

Потоки повітря, що виходять із отворів у духових музичних інструментах можуть бути ламінарні (суцільні, однорідні) і турбулентні (вихрові). Для зміни висоти тону використовується передування. Для відтворення повного діапазону або хроматичного звукоряду – бічні отвори.

Духові музичні інструменти мають свій частотний діапазон, динамічний діапазон, тембр та діаграму напрямленості. Діаграма напрямленості на різних частотах має свої особливості.

Наприклад, для флейти частотний діапазон звучання складає 216,6 Гц (c^1) до 2093 Гц (c^4), а динамічний діапазон – 25 дБ на низьких і 10 дБ на високих частотах.

Графічне зображення тембру кларнета представлено на рис. 1.2.1.

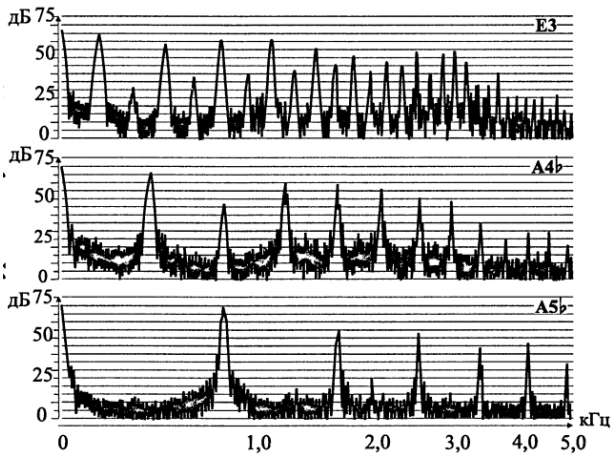


Рис. 1.2.1. Склад обертонів кларнета для звуків середнього і верхнього регістрів (Алдошина И, Притс Р. Музыкальная акустика)

Форми характеристик напрямленості звуку гобоя на різних частотах має вигляд, зображений на Рис. 1.2.2.

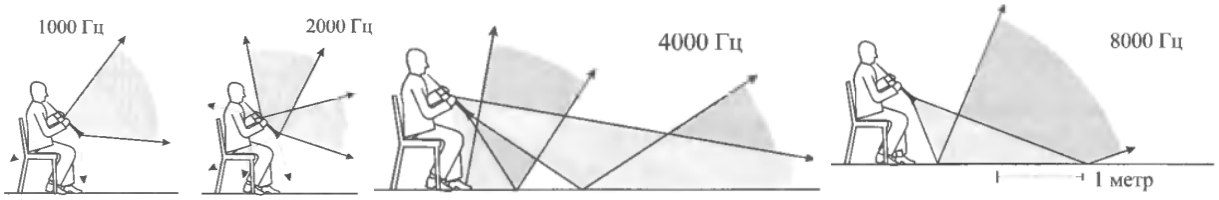


Рис. 1.2.2. Характеристика напрямленості звуку гобоя на різних частотах (Кузнецов Л. А. Акустика музыкальных инструментов)

Струнні музичні інструменти мають генератор (смичок, щипок, удар молоточком), вібратор (струни), резонатор (плоска дека або об'ємний корпус) [26, с. 36; 28, с. 82]. Струнні музичні інструменти мають також свій частотний діапазон, динамічний діапазон, тембр та діаграму напрямленості. Діаграма напрямленості на різних частотах має свої особливості. Наприклад, для скрипки частотний діапазон складає 196 Гц (G3)-3520 Гц (A7) а спектральну характеристику видно з Рис. 1.2.3.

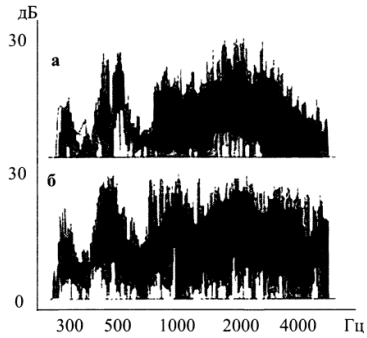


Рис. 1.2.3. АЧХ старовинних італійських скрипок(а), сучасних скрипок(б) (Кузнецов Л. А. Акустика музыкальных инструментов)

Діаграма напрямленості для концертного рояля зображена на Рис.1.2.4.

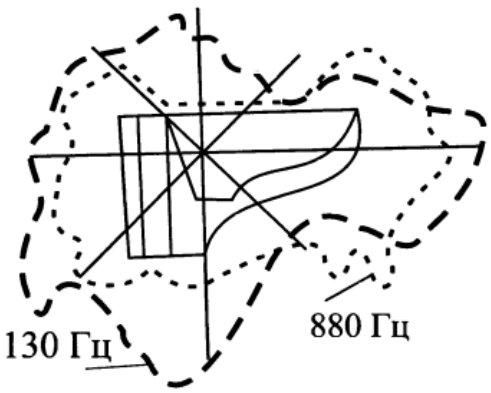


Рис. 1.2.4. Діаграма напрямленості для концертного рояля (Алдошина И, Притс Р. Музыкальная акустика)

Ударні музичні інструменти для генерування звуку використовують також генератор, вібратор і резонатор [26, с. 215; 28, с. 322]. Генератором є удар, який виконує музикант. У часовій структурі обвідної амплітуди повністю відсутня стаціонарна область. Присутні тільки атака і згасання. Вібраторами слугують: мембрани, бруски, стержні, трубки, металічні пластини і т. д. Резонатори можуть мати форму труб (маримба, вібрафон, маримбафон), котлів (литаври), коробок (челеста) та ін.

За природою вібратора ударні інструменти належать до мембранофонів (*membranophones*) та ідіофонів (*idiophones*). Мембранофони та ідіофони поділяються на настроювані за висотою тону (литаври, ксилофон, маримба, челеста та ін.) та ненастроювані (великий і малий барабан, тарілки та ін.).

Частина хордофонів (*chordophones*) також частково належить до групи ударних інструментів завдяки способу звуковидобування. Наприклад, фортепіано, цимбали та ін. Частотний діапазон, відтворюваний на ударних інструментах, досить широкий. Наприклад, у низьких за строєм литавр він становить 87,3 Гц (F2)-130,8 Гц (C3), у високих –196 Гц (G3)-293,6 Гц (D4), а у ксилофона – 174 (F3)-2093 Гц (C7).

Динамічний діапазон ударних є одним із найбільших у родині оркестрових інструментів. У литавр він сягає 80 дБ. Для ксилофона він значно менший і складає 25-30 дБ.

Діаграма напрямленості характеризується різновекторністю в горизонтальній та у вертикальній площинах.

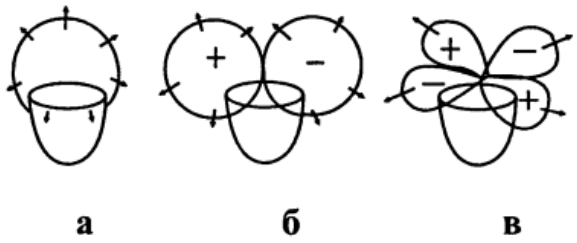


Рис. 1.2.5. Діаграми напрямленості литавр (Кузнецов Л. А. Акустика музыкальных инструментов)

Спектральне насичення для ударних інструментів займає увесь чутний для людини діапазон за рахунок генератора, що продукує шумовий звуковий сигнал. Нижня частина спектру у смузі 200-1000 Гц насичена великою кількістю негармонічних обертонів великої амплітуди, що своєю чергою маскує основний тон, і відчуття висоти тону зникає. Форми звукових коливань тарілок при сильних ударах мають нелінійний характер. В результаті звучання тарілок має плаваючий характер з перехідними процесами, вираженими в биттях.

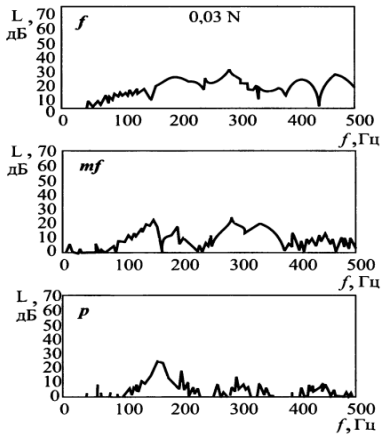


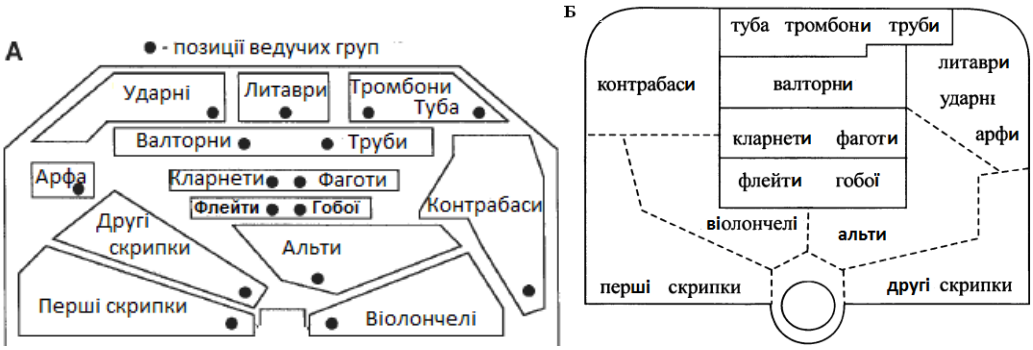
Рис. 1.2.6. Спектр частот малого барабану залежно від сили удару (Алдошина И, Притс Р. Музыкальная акустика)

Оркестр або *музичний ансамбль* може визначатися як група музичних інструментів, створена для виконання музичних творів [2, с. 381]. Акустичні характеристики можна розглянути на прикладі симфонічного оркестру, оскільки до його складу входять основні групи музичних інструментів. Великий склад містить: скрипки перші – 12-16, скрипки другі – 10-14; альти – 8-12; віолончелі – 6-10, контрабаси – 6-10, флейти – 3, гобої – 3, кларнети – 3, фаготи – 3, валторни – 4, труби – 3, тромбони – 3, туба – 1; литаври – 1, ударні – 1-5, арфи – 2 та інші, наприклад рояль.

Сьогодні існують суттєві розбіжності у розміщенні музичних інструментів на сцені чи в оркестровій ямі. Підбір, розташування і вибір кількості музичних інструментів пов'язаний з досягненням поставлених творчих завдань, однак з акустичного погляду кількість музичних інструментів пов’язана з проблемами звукового балансу. Окремі види музичних інструментів значно відрізняються за своїм динамічним і частотним діапазоном, характеристиками напрямленості, тембром, як було показано вище. Такі великі розбіжності, без сумніву, можуть призвести до маскування одної групи інструментів іншою. Тим більше сам концертний зал привносить неабиякі зміни у загальну звукову картину. Тільки пропорційний підбір кількості інструментів та правильне розташування на сцені може дати бажаний результат [2, с. 382]. На Рис. 1.2.7 показано дві схеми розташування інструментів симфонічного оркестру на сцені[1]:

---

[1] В деякій літературі приводять таку класифікацію: а – європейська, б – американська.



А Б

Рис. 1.2.7. Дві схеми розташування інструментів симфонічного оркестру на сцені А та Б (John Eargle The MICROPHONE Book)

Для слухача оркестр – це єдине просторове джерело звуку, з таким кількісним і якісним складом інструментів, що забезпечує музичний баланс звучання в усіх точках залу і може бути оцінене за суб’єктивними критеріями. Крім того, кожен концертний зал має свої акустичні характеристики (об’єктивні параметри), що впливають на звучання оркестру і можуть призвести до порушення акустичного балансу між інструментами. В результаті музиканти оркестру можуть не чути інші групи інструментів і навіть себе.

Частотний діапазон симфонічного оркестру займає від 27,5 Гц (А2) – контрафагот до 4186 Гц (С5) – основний тон флейти-пікколо. Але за рахунок ударних інструментів, у спектрі частот яких багато високочастотних шумових складових, цей діапазон може розширюватись до 16-17 кГц. Отже, частотний діапазон симфонічного оркестру становить 30 – 16000 Гц.

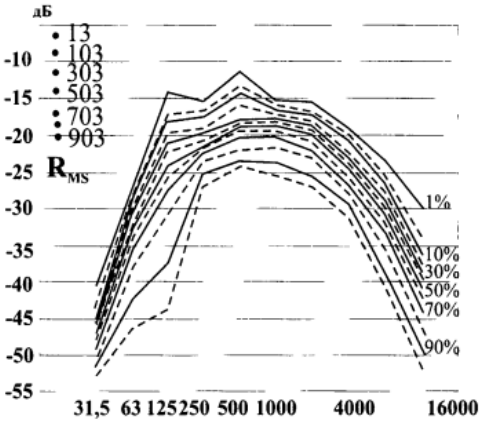


Рис. 1.2.7. Спектральний розподіл пікових рівнів для симфонічного оркестру (Beranek L. Music, Acoustics and Architecture)

Динамічний діапазон симфонічного оркестру утворюється із суми динамічних діапазонів груп інструментів і, для забезпечення балансу між групами, складає: в групі струнних біля 70% (скрипки ~ 35%, альти ~ 15%, віолончелі та контрабаси ~10%), у дерев'яних духових інструментів ~ 12%, мідних духових ~ 10%, ударних ~ 5%. В результаті цього поділу група струнних має динамічний діапазон 30 – 35 дБ, дерев'яних і мідних духових – в середньому 35 – 45 дБ, ударних – до 80 дБ [2, с. 386]. Повний динамічний діапазон симфонічного оркестру сягає близько 80 дБ. Для камерних оркестрів та ансамблів менших складів він може складати 40 – 70 дБ. Розподіл за частотою рівнів акустичної потужності для різних груп інструментів (при виконанні на *mf*) показано на Рис 1.2.8.

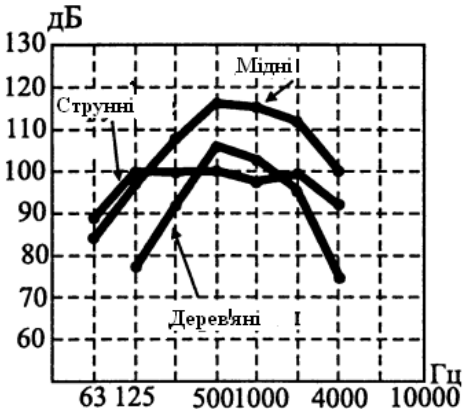


Рис. 1.2.8. Розподіл за частотою рівнів акустичної потужності для різних груп інструментів (Beranek L. Music, Acoustics and Architecture)

Для слухачів у залі середній рівень звучання симфонічного оркестру складає 70 – 90 дБ SPL[1]. Всередині оркестру рівні звукового тиску можуть сягати досить великих значень. Наприклад, на відстані 1м від групи мідних духових інструментів рівень звукового тиску може бути 130 дБ, всередині струнної групи 90 – 100 дБ.

Перехідні процеси дуже відрізняться в групах інструментів і залежать від їх конструктивних особливостей та способу звуковидобування.

Тембр звучання оркестрів та музичних ансамблів у великій мірі залежить від музикантів та диригента, унікальності самих інструментів (їх тембральних властивостей), від правильно підібраного твору для даного складу оркестру. Як зазначалось вище, тембр також залежить від розташування на сцені та від характеристик концертного залу [13].

1.3. Основи акустики концертних залів

Питаннями поширення звуку в закритих і відкритих середовищах займається архітектурна акустика.

Про те, що звучання твору міняється залежно від того, в якому залі його виконувати, добре відомо диригентам, музикантам та слухачам. Приміщення концертних залів мають достатньо великий вплив на формування звукового образу. В процесі поширення звукова хвиля піддається обробці так званим просторовим фільтром, який змінює її часову структуру, просторові й тембральні (амплітудно-частотні) характеристики, її звуковий баланс. При допустимих рівнях звукового тиску концертний зал та його повітряне середовище можна вважати лінійною системою. При підвищених рівнях звуку та при зміні об’єктивних параметрів повітряного

---

[1] SPL – рівень звукового тиску (Sound Pressure Level).

середовища починають проявлятись нелінійні властивості замкнутого приміщення (в даному випадку – концертних залів). Це, зокрема, позначається на амплітудно-частотних характеристиках звуку, міняючи тембр і звукову картину загалом [2, с. 471].

Архітектура концертних залів та оперних театрів має свою багатовікову історію. Її коріння сягає форм грецьких та римських амфітеатрів, де глядачі розташовувались півколом на поступово підвищуваних рівнях. Така форма забезпечувала доступ прямих звукових променів у всі точки амфітеатру. Кам'яна кладка за сценою додатково створювала відбиті звукові промені. Прикладом може бути знаменитий Колізей (лат. Colosseum)[1].

У XVI столітті в Італії з'явились закриті амфітеатри (театр Олімпіко, театр Фарнезе в Пармо та ін.). Їх форма нагадувала амфітеатр, але зал став закритим і подовженим, з'явилась авансцена. При подальшому будівництві оперних театрів додались багатоярусність та балкони зі збереженням класичної підковоподібної форми (horseshoe-shaped plan). Така форма створює всередині оперного театру хороше дифузне поле. Вимоги до акустики оперних театрів не змінились протягом чотирьох століть.

Концертний зал сучасного оперного театру складається з глядацького залу, сцени та оркестрової ями. Зал з глядачами можна поділити на передню (близьку до сцени) та задню (задні ряди місць, ложі, балкони) частини. На сцені знаходиться дуже багато предметів які поглинають звукові хвилі. Це декорації, куліси, в тому числі протипожежні. В середині сцени звукова енергія практично повністю поглинається, тому в зал випромінюється тільки пряма енергія. Оркестрова яма розміщена нижче рівня сцени і в ній

---

[1] Первинна назва Амфітеатр Флавіїв (лат. Amphitheatrum Flavium) – найбільший амфітеатр Стародавнього Риму, символ імператорської могутності. Його будівництво було закінчено у 80 р. н. е.

розташовується оркестр. Важливо, щоб зберігався баланс між солістом та оркестром. Оркестр також може виконувати музику на сцені оперного театру.

Зазвичай зали класичних оперних театрів мають овальну форму, а систему балконів – від трьох до шести ярусів. Балкони повинні бути невеликої глибини (до 3 м), оскільки тільки за таких умов у їх простір потрапляє пряма звукова хвиля та всі наступні відбиття.

Баланс між оркестром та солістом досягається також за допомогою звуковідбиваючих поверхонь опуклої форми. Вони формують напрям відбиттів звукових хвиль від соліста в сторону слухачів, а звукових хвиль від оркестру – назад до музикантів в оркестрову яму.

Також баланс між оркестром та солістом досягається частковим перекриттям оркестрової ями. Таке перекриття (1/3 ширини ями) дозволяє частково знизити рівень звучання оркестру. Біля басових інструментів можуть встановлюватись поглиначі низьких частот.

Дослідження акустики концертних залів тісно пов’язане з поняттям реверберації та величиною часу реверберації. Уперше це поняття запропонував К. В. Сабіне (C. W. Sabine) у 1922 році [180, с. 3]. Пізніше А.П.Ґіменез (A. P. Giménez) проаналізував та узагальнив дослідження різних наукових шкіл таких, як: Дрезденська (Рейхар, Шмідт, Шульц, Кремер, Кюрер), Ґетінґенська (Ґотлоб, Сієбрас, Ейшольдт і Шредер), Японська (Хідака, Маекава, Морімото, Окано), а також акустиків Андо, Баррона, Беранека, Фріке, Ґейда, Хаана, Маршала, Келя, Фаріни. В Іспанії вчені з чотирьох університетів (Каталонії, Наварри, Севільї та Валенсії), досліджували зв’язок між об’єктивними акустичними параметрами та суб’єктивними відчуттями у слухачів [150].

Коли джерело звуку, а в нашому випадку оркестр, працює в замкнутому приміщенні, відбувається складний процес формування звукового поля в ньому – за рахунок відбиття звукових хвиль від стін, стелі,

підлоги, крісел та інших предметів. Під час цього процесу звукова енергія частково поглинається середовищем і затухає, частково проходить у зовнішнє середовище, а також має місце дифракція звукових хвиль за рахунок наявності в приміщенні предметів антуражу (колони, люстри, і т. д.). Таким чином, в кожну точку приміщення[1] (концертного залу) приходить спочатку прямий звук, потім перші відбиття з деякою затримкою в часі, а потім дво-, три-, чотирикратно відбиті звукові хвилі і т. д. При кожному відбитті частина енергії поглинається, а частина приходить знову в кінцеві точки, накладаючись на прямий звук. В цих місцях (кінцевих точках) може знаходитись слухач або мікрофон для запису. В результаті, у замкнутому приміщенні з джерелом звуку формується дифузне звукове поле – однорідна за акустичними властивостями, відносно статична реверберaційна область, утворена в результаті одночасної наявності в ній великого числа відбитих хвиль. Процес розподілу енергії дифузного поля ділиться на три фази. Перша – це *процес атаки*, коли густина енергії звукової хвилі досягає певного значення за рахунок появи прямої хвилі а потім і всіх наступних відбиттів. Друга – це *усталений режим*, коли процес наростання енергії компенсується втратами за рахунок поглинання середовища. Третя – *режим згасання*, коли густина енергії звукової хвилі поступово зменшується за рахунок зникання (згасання) прямої хвилі, а потім і всіх наступних відбиттів. Такий процес згасання відбитих звукових хвиль називається *реверберацією*, а час за який відбувається згасання – часом реверберації. Позначається RT – *Reverberation Time*, вимірюється у секундах [2, с. 474; 61, с. 20; 180, с. 3].

На реверберацію впливають розміри і форма приміщення, поглинаючі властивості матеріалів (чим більше поглинається звук, тим коротший час

---

[1] Ці точки прийому звуку будемо умовно називати кінцевими.

реверберації). Відомо, що в гулких приміщеннях мова може звучати розпливчасто, нечітко, проте музика звучить соковито, наповнено. Приміщення, – у нашому випадку концертний зал, – за рахунок своїх дифузних властивостей має вплив на тембр звучання оркестру. Дифузне наповнення концертного залу також залежить від діаграми напрямленості та динаміки звучання оркестру в цілому, а це, своєю чергою, залежить від діаграми напрямленості та динаміки звучання кожного інструмента зокрема.

Крім часу реверберації (RT) для об'єктивної оцінки застосовуються ще такі параметри як: час ранніх відбиттів (EDT – *early decay time*), рівень басу (BR – *bass ratio*), відношення ранньої/реверберaційної енергії, усереднене в смугах 500, 1000 і 2000 Гц ($C_{80(3)}$ – *early/reverberant sound energy ratio*), два силових коефіцієнти (G_L, G_M) усереднені в смугах 125 і 250 Гц, і 500, 1000 і 2000 Гц, коефіцієнт внутрішньослухової крос-кореляції ($IACC_{E3}$ – *interaural cross-correlation coefficient*), час між приходом прямого сигналу та появою перших відбиттів (ITDG – *initial-time-delay gap*) та. ін. [57; 59; 62; 186].

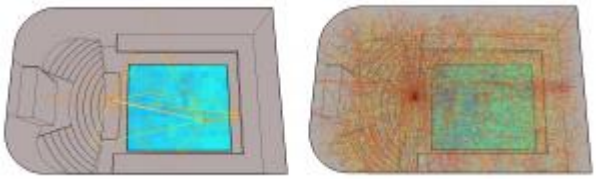


Рис. 1.3.1. Візуальна модель ранніх відбиттів (зліва) і реверберації (справа) (Scientific Acoustics)

На сучасному етапі при розрахунку структури звукових полів у закритих приміщеннях використовують три різні підходи, які ґрунтуються на статистичній, геометричній та хвильовій теоріях [2, с. 475].

Статистична теорія припускає, що музичні та мовні сигнали є квазівипадковими. Для неї середні в часі значення густини звукової енергії у всіх точках приміщення рівні, напрям приходу енергії в кожну точку поля

рівноймовірний і середні значення енергії за різними напрямами однакові. Інакше ці властивості називають однорідністю та ізотропністю середовища. Нагадаємо, що звукове поле, наділене такими властивостями, називається дифузним.

Насправді, звукове поле в приміщенні можна наближено вважати дифузним тільки тоді, коли енергія відбитих хвиль переважає енергію прямих. Це може бути реверберaційна камера.

Статистичний метод є приблизним і використовується тільки для визначених частот і певних зон в приміщенні (наприклад, його не можна використовувати для аналізу звукового поля поблизу сцени або поблизу сильно заглушених поверхонь). Він дає тільки середньоенергетичне значення різних характеристик звукового поля, не враховуючи розподілу в просторі амплітуд і фаз сигналу. За статистичною теорією можуть бути визначені такі параметри:

- середній час і середня довжина вільного перебігу звукової хвилі. Вони можуть бути обчислені, відповідно, за такими формулами: $\tau = 4V/CS$, та $l_{сер} = 4V/S$, де V – об'єм приміщення, S – площа усіх поверхонь, C – швидкість звуку.
- середній коефіцієнт поглинання. Коефіцієнт поглинання визначається як відношення поглинутої енергії до діючої енергії на дану поверхню: $\alpha = E_п/E_д$. Середній коефіцієнт поглинання: $\alpha_{сер}= A/S$, де A – коефіцієнт загального поглинання ($A = \alpha_1S_1 + \alpha_2S_2 +\ldots+ \alpha_nS_n$), S – площа усіх поверхонь.
- час реверберації. Стандартний час реверберації – це такий проміжок часу T (с), за який густина звукової енергії зменшується в 10^{-6} разів порівняно з вихідною. При цьому рівень гучності знижується на 60 дБ. Час реверберації можна обчислити за формулою Ейрінга: $T = 0{,}161V/(S \ln(1- \alpha_{сер}))$, де V – об'єм приміщення, S – проща всіх поверхонь, $\alpha_{сер}$ – середній коефіцієнт поглинання. При невеликих коефіцієнтах

поглинання ($\alpha_{сер}$< 0,2) цей вираз спрощується до T = 0,161 V/ $\alpha_{сер}$S (формула Себіна) [18, с. 479; 36, с. 3 – 68].

Рис. 1.3.2. Структура процесу реверберації в приміщенні (Beranek L. Music, Acoustics and Architecture)

- еквівалентний час реверберації, введений для реальних приміщень, де енергія звукового поля розподіляється нерівномірно. На малих відстанях від джерела переважає енергія прямих звуків, яка зменшується прямо пропорційно до квадрату відстані. Для визначення взаємодії прямого і відбитих звуків у реальних приміщеннях існує поняття *акустичного співвідношення*, що визначається як R = $E_{відб}/E_{пр}$. (відношення густини відбитої енергії до прямої). Акустичне співвідношення залежить від відстані до джерела r, об'єму приміщення V, часу реверберації T і середнього поглинання в приміщенні: R = 312(r^2T/V)(1 – $\alpha_{сер}$). Оптимальне акустичне відношення для мови становить 0,5 – 1, для музики 6 – 8, для органної музики 10 – 12. Тому в кожному залі (залежно від об'єму і часу реверберації) існують оптимальні відстані для прослуховування мови та музики. На відстані, де густина енергії відбитих звуків дорівнює енергії прямих, акустичне співвідношення стає

рівним одиниці (R = 1). Така відстань називається *радіусом гулкості* або *радіусом реверберації*. На відстані, меншій від радіуса гулкості, суб'єктивно відчутний час реверберації буде меншим від стандартного часу за рахунок енергії прямої хвилі. Тому, на основі суб'єктивних експертиз, було уведено поняття *еквівалентний час реверберації*. При великих R (R > 3) час еквівалентної реверберації буде дорівнювати часу стандартної реверберації, при малих R час еквівалентної реверберації буде меншим від часу стандартної реверберації, що своєю чергою вплине на слухові відчуття.

- результуючий час реверберації потрібно визначати у випадку зв'язаних приміщень, де до основного сигналу в первинному приміщенні накладається сигнал з вторинного. Іноді ці приміщення пов'язані акустично, іноді – через електричний канал. Час реверберації в цьому випадку залежить від накладання відбитих сигналів в первинному приміщенні і додавання до них відбитих сигналів з вторинного приміщення, що потрапляють в первинне.

Геометрична теорія бере за основу перші дискретні відбиття, які формують у слухача відчуття простору концертного залу, близькості (інтимності) тощо. За цей короткий початковий проміжок часу (приблизно 80 мс) звукове поле ще не може бути сформоване як рівномірне [2, с. 483; 62]. Геометрична теорія подібна до геометричної оптики. Можна провести повну аналогію між рухом звукових хвиль та рухом світлових променів. При цьому виконуються всі закони геометричної оптики. Наприклад, кут падіння дорівнює куту відбивання, падаючий і відбитий промінь лежать в одній площині, час приходу променя визначається пройденим шляхом і швидкістю звуку в повітрі.

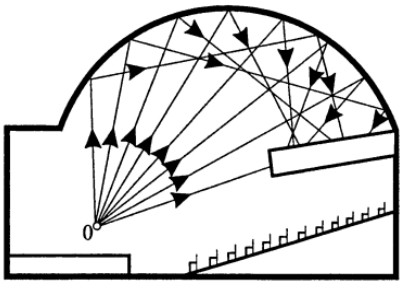


Рис. 1.3.3. Ескіз відбитих променів для концертного залу (Beranek L. Music, Acoustics and Architecture)

Характер відбиттів залежить від форми поверхні: опуклі (опуклі доверху, тобто назовні) – фокусують звук, угнуті (опуклі донизу, тобто всередину) – розсіюють. Плоскі поверхні розглядаються як дзеркальні. Інтенсивність відбиття залежить від виду та характеру звукопоглинаючого матеріалу. Частини поверхні, від яких звукова енергія, відбившись перший раз, падає на всю площину слухацьких місць, називають площадками перших відбиттів. Відповідно, якщо має місце двократне відбиття, – площадками других відбиттів і т. д. За допомогою геометричною теорії можна вивести наступні закономірності:

- площадки перших відбиттів розташовані в основному на стелі, і тому звукова енергія, скерована на стелю, зазвичай потрапляє на площину слухацької аудиторії в початковому часі процесу реверберації;
- на бічних стінах площадки перших відбиттів зазвичай розташовуються нижче висоти розташування джерела;
- на задній стінці та підлозі також є площадки перших відбиттів, але вони значно менші за площею, тому їхня роль в структурі перших відбиттів незначна.

Для визначення структури перших відбиттів важлива не тільки інформація про розміри і форму приміщення, але також і час приходу перших відбиттів. Для променя будь-якого порядку відбиття час затримки відносно прямого променя визначається як: $t_n = (l_n - l_0)/C$, де l_n – шлях відбитого променя після n відбиттів, l_0 – шлях прямого променя в задану

точку. В міру збільшення кількості відбитих променів, їх густина збільшується, а амплітуда зменшуються після кожного відбиття. Залежно від розмірів залу, час ранніх відбиттів становить від 60-80 мс до 200 мс. Чим більший зал, тим довший час ранніх відбиттів.

Сфера використання геометричної теорії обмежується умовою $\lambda \ll D$, де λ – довжина хвилі, а D – лінійні розміри приміщення. Тобто, ця теорія добре працює у високочастотному діапазоні, зокрема, через те, що вона не враховує явища дифракції хвиль, коли довжина хвилі стає співмірною з розмірами окремих перешкод в приміщенні [2, с. 486].

Хвильова теорія розглядає приміщення як резонатор. Аналогічно, наприклад, до конструкції духового музичного інструмента. Повітря в приміщенні має свій об’єм і масу. Також повітряна маса має свою пружність, тому, відповідно, можна розрахувати його власні частоти і змоделювати форми коливань. Якщо приміщення має дві плоскі тверді стінки, і між ними працює джерело звуку, то в цьому приміщенні на деяких визначених (резонансних) частотах виникатимуть стоячі хвилі в результаті інтерференції падаючої та відбитої від жорсткої стінки хвилі. У приміщенні, в деяких вибраних точках, матимуть місце максимуми і мінімуми звукового тиску. Біля відбиваючих стін звуковий тиск залишатиметься максимальним. Таке явище може виникати вздовж бічних стін концертного залу.

Звукове поле в замкнутому приміщенні представляє собою композицію стоячих хвиль трьох видів: аксіальних (осьових), тангенціальних і косих. Розрахунок можна провести за формулою, отриманою Релеєм у 1896 році:

$$f_{k,m,n} = \frac{C}{2}\sqrt{\left(\frac{k}{L}\right)^2 + \left(\frac{m}{B}\right)^2 + \left(\frac{n}{H}\right)^2},$$

де *k, m, n* – цілі числа, що відповідають номеру резонансної частоти; L, B, H – довжина, ширина і висота приміщення відповідно.

Для аксіальних хвиль: якщо m, n = 0, а k ≠ 0, то ці хвилі напрямлені паралельно довжині приміщення (рухається вздовж приміщення); якщо m ≠ 0 – паралельно ширині (рухається в ширину); n ≠ 0 – паралельно висоті (рухається у висоту). Для тангенціальних: якщо k = 0, а m, n ≠ 0 то це хвилі паралельні площині Y, Z і т. д. Для косих: всі три числа не дорівнюють нулю (k, m, n ≠ 0), тому це стоячі хвилі між всіма шістьма поверхнями в приміщенні [2, с. 487].

Низькі власні частоти належать до осьових хвиль, за ними виникають тангенціальні, а потім – косі хвилі. Тому при проектуванні студій звукозапису та контрольних кімнат найбільшу увагу приділяють пригніченню (демпфер) осьових (аксіальних) хвиль, оскільки вони створюють найбільшу нерівномірність розподілу звукового тиску вздовж приміщення.

Для оцінки густини спектру, тобто кількості власних частот всередині частотної смуги Δf (наприклад, в триоктавній смузі або смузі шириною 1 кГц), застосовується наступний вираз:

$$\Delta N = [(4\pi V)(f/C)^3+(\pi S/2)(f/C)^2+(E/8)(f/C)]\ \Delta f/f,$$

де E = 4(L+B+H) – сума довжини, ширини і висоти приміщення, f – центральна частота смуги Δf.

Як видно із цієї формули, густина спектру зростає зі збільшенням об’єму приміщення та зі збільшенням частоти звуку. При підвищенні частоти АЧХ (обвідна спектру) стає більш однорідною, і приміщення менше впливає на спектр частот (тембр) джерела. Найбільш резонансною є низькочастотна ділянка спектру. Причому, для великих приміщень, в нашому випадку концертних залів, ця ділянка розташовується в діапазоні 18-60 Гц, який є суттєво нижчим від діапазону музичних інструментів та голосу.

Для малих приміщень область дискретного спектру потрапляє якраз в музичний і мовний діапазон, що вносить значні зміни в музичне та мовне

забарвлення тембру. Малі приміщення мають нерівномірні АЧХ. Це є одною з причин того, що контрольні кімнати роблять глухими.

При вимкненні джерела звуку в замкнутому приміщенні починається процес згасання вільних коливань (реверберація). У смузі низьких частот, де приміщення має дискретний спектр, процес згасання відбувається на власних резонансних частотах, які не співпадають зі спектральним складом джерела звуку, що сприймається як спотворення його тембру. В процесі згасання можуть виникнути биття, оскільки власні частоти є близькими за спектром. Швидкість згасання різних мод коливань в приміщенні буде різною. Найшвидше згасають косі хвилі, потім тангенціальні та осьові (аксіальні). Тому розподіл енергії буде мінятися в процесі реверберації. В міру згасання звуку, все більшу роль будуть відігравати осьові хвилі (напрямлені вздовж довгих стін).

Наявність власних паразитних частот та мод коливань є вкрай небажаним фактором, який погіршує загальну акустику приміщення. Для боротьби з такими явищами використовуються різні методи. У випадку концертних залів, під час реконструкції можливі зміни рельєфу стелі або стін (ребриста поверхня), вибір звукопоглинаючих матеріалів та способів їх розміщення на поверхні.

Прикладом може стати реконструкція Львівського оперного театру імені С. Крушельницької у 2008 році, що передбачала заміну перекриття, звукопоглинаючих матеріалів, а також косметичний ремонт інтер’єру. Для збереження акустичних характеристик були проведені внутрішні акустичні вимірювання, чисельне моделювання і лабораторні випробування для окремих внутрішніх матеріалів (дошки, килими, облямівки). Для партеру був інстальований дизайн, що забезпечив найкращі характеристики звукопоглинання в діапазоні низьких частот [135].

Для пропорцій приміщення дуже небажаною є кубічна форма. В ній має місце співпадання власних частот, що призводить до сильного спотворення та надмірного забарвлення звуку.

Існують певні пропорції для розмірів приміщень, за яких можна досягнути рівномірного розподілу частот у спектрі звуку. Ще в Стародавній Греції були відкриті пропорції золотого поділу, згідно яких співвідношення висоти, ширини і довжини підпорядковуються наступному закону: L/B=B/H при L = B + H, де L – довжина, B – ширина, H – висота. Об'єм приміщення V = L·B·H. У результаті отримуємо такі дані:

$$H = 0,62\sqrt[3]{V}\ ;\ B = \sqrt[3]{V}\ ; L = 1,62\sqrt[3]{V}\ .$$

Саме ці пропорції використовувались архітекторами протягом багатьох століть для створення концертних залів з прекрасною акустикою. Найбільш поширеною стала не прямокутна, а, так звана, підковоподібна форма (horseshoe-shaped plan). До речі, Львівська опера має саме таку форму [135].

Таким чином, хвильова теорія є найбільш точним, але і найбільш трудомістким методом розрахунку звукових полів.

Сьогодні використовують всі три теорії для оцінки акустичних властивостей приміщень, що залежать від розміру приміщення і часу реверберації в ньому. Починаючи від частоти f_1 = 170/L можна використовувати хвильову теорію; від частоти f_2 ~ $2000(T/V)^{1/2}$ – статистичну; а від частоти $f_3 = 4f_2$ – геометричну. Тут L – довжина приміщення, V – об'єм, T – час реверберації.

Такі об'єктивні параметри, як час реверберації, структура резонансних частот, час і напрямок приходу ранніх відбиттів, отриманих зі статистичної, геометричної та хвильової теорій оцінки акустичних властивостей концертних залів є основними.

На звучання музики в приміщенні також мають вплив негативні фактори. Основні з них: *луна* – помітне на слух повторення прямого звуку.

Виникає при збільшенні рівня та затримки перших відбиттів (більше 80 мс); *тремтяча луна* – багаторазове повторення прямого звуку, що створює специфічне забарвлення тонів (ефект гребінчастого фільтру). Спостерігається в приміщеннях з довгими паралельними плоскими стінами. Наявність літаючої луни призводить до порушення локалізації джерела звуку, що є неприпустимим в процесі прослуховування музики.

Шуми – впливають на загальне прослуховування музики та на звукозапис. Шуми можуть бути зовнішніми, що проникають із зовнішнього середовища, внутрішніми, які продукуються автоматизованими системами освітлення, вентиляцією, а також самими музичними інструментами та публікою.

Висновки до І розділу

Звук – це коливальний рух частинок пружного середовища, що поширюється у вигляді хвиль. Основними об’єктивними фізичними характеристиками звукових хвиль є частота, амплітуда, період коливань, довжина хвилі. Додатковими – тиск, швидкість і спектр (що визначає тембр звуку). Реальний звуковий сигнал є коливанням дуже складної форми, переважно неперіодичним, що за своїми спектральними характеристиками значно перевищує можливості слухового сприйняття людини.

У вузькому значенні терміном звук називають коливання, які сприймаються сенсорною системою тварин і людини. Відчуття, які викликають звукові хвилі в психіці людини (суб’єктивні характеристики звуку) прямо залежать від її фізичних параметрів. До них належать гучність, висота, тембр, локалізація в просторі, характер коливань. Нелінійний взаємозв’язок між суб’єктивними відчуттями та об’єктивними параметрами описує психофізичний закон Вебера-Фехнера.

Звукові хвилі генеруються пружними тілами, якими у випадку музичних інструментів є струни (хордофони), мембрани (мембрафони),

стовпи повітря (аерофони), тіла інструментів (ідіофони). За способом звуковидобування музичні інструменти поділяють на струнно-смичкові та струнно-щипкові, клавішно-ударні та струнно-ударні, дерев'яні духові, мідні духові, клавішно-щипкові, ударні, електронні. За способом модуляції повітряного потоку – на лабіальні, тростинні та амбушурні. Кожен музичний інструмент має власні частотний і динамічний діапазони, тембр та діаграму напрямленості. Відповідні характеристики оркестру утворюються як суми характеристик інструментів.

В процесі звучання музики (оркестру) в замкнутому приміщенні звукова хвиля піддається обробці так званим просторовим фільтром, що вносить свої корективи в часові структури, тембральні та просторові характеристики, звуковий баланс. Процес формування звукового образу в замкнутому середовищі відбувається за рахунок таких явищ, як відбиття, затухання, дифракція, інтерференція звукових хвиль, поглинання звукової енергії. Процес згасання відбитих звукових хвиль називається *реверберацією*, а час за який відбувається згасання – часом реверберації. Дослідження акустики концертних залів тісно пов'язане з цими поняттям.

При розрахунку структури звукових полів у закритих приміщеннях використовують три різні підходи, які ґрунтуються на статистичній, геометричній та хвильовій теоріях.

Статистична теорія припускає, що музичні та мовні сигнали є квазівипадковими. Статистичний метод є приблизним і використовується тільки для визначених частот і певних зон в приміщенні. Геометрична теорія бере за основу перші дискретні відбиття, які формують у слухача відчуття простору концертного залу тощо. Геометрична теорія добре працює у високочастотному діапазоні. Хвильова теорія розглядає приміщення як резонатор, аналогічно, наприклад, до конструкції духового музичного інструмента. Хвильова теорія є найбільш точним, але й найбільш трудомістким методом розрахунку звукових полів.

РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ ЗВУЧАННЯ ОРКЕСТРІВ У ЛЬВІВСЬКИХ КОНЦЕРТНИХ ЗАЛАХ В ЖИВОМУ ВИКОНАННІ ТА В ЗАПИСІ

2.1. Об’єктивні параметри оцінки акустики концертних залів та характеристики вибраних залів Львова

Фізичні розміри концертних приміщень такі, як: об’єм – V ($м^3$), площа поверхонь – S($м^2$), кількість місць – N, звукопоглинаючі матеріали в інтер’єрі (підлога, стіни, стеля, м’які чи тверді місця) визначають акустичні параметри концертних залів. Їх прийнято називати об’єктивними параметрами.

На сьогодні, для обчислення об’єктивних параметри, використовують рекомендації та вимоги стандарту ISO 3382-2009 (The International Organization for Standardization) [131].

Об’єктивні параметри оцінки акустики залів поділяються на монауральні (monaural – не пов’язані з просторовою локалізацією звуку) та бінауральні (binaural – пов’язані з просторовою локалізацією звуку). Їх отримують шляхом зняття імпульсних характеристик на заздалегідь визначених позиціях глядацької аудиторії та сцени. Вимірювальні сигнали бувають: імпульсні – розрив повітряної кульки, синусоїдальні – простий синтезований сигнал, який подається зі зміною частоти від низької до високої (Log-Sine sweep), шумові (noise) та ін. Для отримання об’єктивних параметрів сигнали попередньо записуються на носії з подальшою обробкою спеціалізованим програмним забезпеченням [12].

Узагальнивши досвід по вибору об’єктивних параметрів оцінки фізичних якісних показників концертних залів ми пропонуємо зупинитись на наступних параметрах:

Монауральні параметри:

- RT_{mid} (Reverberation time) – час реверберації, визначений за проміжок часу, коли рівень тиску звукової хвилі спаде на 30 дБ, порівняно з вихідним значенням, після припинення дії джерела звуку, з подальшою інтерполяцією спадної кривої до 60 дБ;
- EDT_{mid} (Early decay time) – час ранніх відбиттів, визначений за проміжок часу, коли рівень тиску звукової хвилі впаде на 10 дБ, порівняно з вихідним значенням, після припинення дії джерела звуку;
- BR_{occ} (Bass ratio) – величина басу, або коефіцієнт низького тону, визначений з відношення сум величин часу реверберації у двох (низькій та середній) октавних смугах;
- Br (Brightness) – прозорість, або коефіцієнт високих частот, визначається з відношення сум величин часу реверберації у двох (високій та середній) октавних смугах;
- $C_{50(3)}$ (Voice Clarity) – розбірливість голосу, або коефіцієнт ранньої/реверберaційної енергії, що визначається через відношення величини енергії звукової хвилі, яка діє на слухача перших 50 мс після приходу прямого звуку, до енергії, що діє після того, та усереднений в п’яти октавних смугах (125 – 4000 Гц);
- $C_{80(3)}$ (Musical Clarity) – музична розбірливість, або коефіцієнт ранньої/реверберaційної енергії, що визначається відношенням величини енергії звукової хвилі, що діє на слухача перших 80 мс після приходу прямого звуку, до енергії, що діє після цього, та усереднений в п’яти октавних смугах (125 – 4000 Гц);
- D_{50} (Definition) – мовна розбірливість, коефіцієнт що визначається відношенням величини енергії звукової хвилі, яка діє на слухача в межах перших 50 мс від моменту приходу прямого звуку (включаючи прямий звук і ранні відбиття), до всієї звукової енергії, та усереднений у п’яти октавних смугах (125 – 4000 Гц);

- G_M (Strength Factor) – силовий фактор, або рівень звуку, визначений як різниця між загальним рівнем звукового тиску, створеного ненапрямленим джерелом звуку в даній точці приміщення та рівнем звукового тиску, створеного тим же джерелом у вільному полі на відстані до десяти метрів;
- T_s (Center Time) – баланс між розбірливістю та реверберацією, або центр ваги піднесеної до квадрату імпульсної перехідної характеристики, усереднений в проміжку 125 – 4000 Гц;
- ITDG (initial-time-delay gap) – інтервал між приходом прямого звуку та перших відбиттів. Він визначається експериментальним шляхом з імпульсного відгуку;
- LF_{E4} (Lateral Efficiency) – рівень бічної енергії. Визначається як відношення рівня бічної звукової енергії протягом 80 мс з моменту приходу прямого звуку до рівня всієї звукової енергії за цей же проміжок часу.

До бінауральних параметрів належить:

- $IACC_{E3}$ (interaural cross-correlation coefficient) – коефіцієнт внутрішньослухової крос-кореляції, визначений як взаємна кореляція між розрахунковими імпульсними відгуками в обох вухах у перші 80 мс, та усереднений в трьох октавних смугах. Він вказує на ступінь подібності між двома сигналами.

Сценічний параметр:

- $ST_{(sp)mid}$ (Room Support) – параметр, що характеризує рівень акустичного комфорту на сцені та в оркестровій ямі. Розраховується як відношення енергії ранніх відбиттів (від 20 до 100 мс) від стін і стелі сцени чи оркестрової ями до енергії, отриманої після 20 мс; обидва значення отримуються на відстані метра від ненапрямленого джерела звуку, що знаходиться на сцені. Ця величина виражається логарифмічною послідовністю (шкалою).

Упродовж багатьох років досліджень акустики концертних залів, завдяки внеску Беранека, Баррона та інших експертів, було отримано значення акустичних параметрів, які найбільше відповідають умовам для прослуховування класичної музики. Більшість з них походить від великих театрів і концертних залів світу під оглядом акустичного комфорту [40]. Вони наведені в таблиці 2.1.1.

Акустичні параметри		**Рекомендовані величини**	**Зал**
RT_{mid} (для заповнених приміщень)		$0,7<RT_{mid}<1,2s$	Театр
		$1.8<RT_{mid}<2s$	Концертний зал
EDT_{mid}		$EDT_{mid} \approx RT_{mid}$	Концертний зал
C_{50} (для заповнених приміщень)		$C_{50}>2dB$	Театр
C_{80}	Заповнені приміщення	$-2<C_{80}<2dB$	Концертний зал
	Незаповнені приміщення	$-4<C_{80}<0dB$	
D_{50}		$D>50\%$	Театр
G_{mid} (для незаповнених приміщень)		$4<G_{mid}<5,5dB$	Концертний зал
LFC_{E4}(для незаповнених приміщень)		$LFC_{E4}\geq 0,19$	Концертний зал
$(1-IACC_{E3})$ (для незаповнених приміщень)		$(1-IACC_{E3})\approx 0,70$	Концертний зал
BR (для заповнених приміщень)		$1,10\leq BR\leq 1,25$ (If $T_{mid}=2,2s$)	Концертний зал
		$1,10\leq BR\leq 1,45$ (If $T_{mid}=1,8s$)	
Br (для заповнених приміщень)		$Br\geq 0,87$	Концертний зал
STI_{mid}		$-14\leq ST1_{mid} \leq -12,5dB$	Концертний зал

Таблиця 2.1.1. Рекомендовані величини акустичних параметрів

Акустичні параметри отримано методом зняття перехідних імпульсних характеристик концертних залів і обчислені за допомогою

спеціалізованого програмного забезпечення *Aurora* та *EASERA*. При знятті імпульсних характеристик використовувались імпульсний короткий сигнал (звук від розриву повітряної кульки) та простий синусоїдальний сигнал (частота розгортається експоненціально від низької до високої (*sine sweep*). Також було використано технічну документацію концертних залів. В акустичних вимірах брали участь спеціалісти кафедри віброакустики гірничо-металургійної академії ім. Станіслава Сташіца у Кракові (*Katedra Mechaniki i Wibroakustyki, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie*), кафедри архітектури Львівської політехніки і кафедри джазу та популярної музики ЛНМА імені М. В. Лисенка.

Для проведення досліджень було вибрано п’ять концертних залів міста Львова. Це – концертний зал ім. С. Людкевича Львівської національної філармонії, зал Львівського національного академічного театру опери та балету імені Соломії Крушельницької, зал Будинку органної та камерної музики, концертний зал Національного академічного українського драматичного театру імені Марії Заньковецької, великий зал Львівської національної музичної академії імені М. В. Лисенка.

Концертний зал ім. С. Людкевича Львівської обласної філармонії розташований у чудовому сецесійному будинку, збудованому у 1907 р. для Музичного товариства Галичини. Оркестр філармонії був заснований 1933 р. А. Солтісом, статус державної філармонія отримала 1939 р., а статут національної – у 2018 р.; від 1944 р. постійно здійснює концертну діяльність. На її сцені виступали найвідоміші музиканти світу: С. Крушельницька, О. Мишуга, Р. Штраус, Г. Малер, Б. Барток, А. Рубінштейн, Ф. Бузоні, М. Лонг, В. Ландовска, П. Казальс, у другій половині XX ст. — С. Ріхтер, Р. Керер, Л. Коган, Д. Ойстрах, Л. Ісакадзе, Б. Руденко, В. Горностаєва, Н. Гутман, О. Криса, Ю. Башмет та інші.

На сьогодні Львівська філармонія — один з провідних концертних закладів України, що популяризує найкращі взірці музичного мистецтва,

міжнародні фестивалі, цикли концертів-монографій, концерти за участю юних музикантів, тематичні програми для учнів середніх шкіл тощо[1].

Зал має форму чотирикутника із закругленими кутами. Геометричні розміри становлять:

L(м)	B(м)	H(м)	L(м)	H(м)	S(м²)	S(м²)	V(м³)	V(м³)	N
партер	партер	партер	сцена	сцена	партер	сцена	партер	сцена	кл.мсц.
16,1	15,5	9,5	9,1	8	248,8	140,7	2355,7	1126,9	576

Таблиця 2.1.2. Геометричні розміри та кількість місць, де L(м) – довжина, B(м) – ширина, H(м) – висота, S(м²) – площа, V(м³) – об'єм, N – кількість місць

Стеля: заокруглена форма по краях; 2 см штукатурки; по обидві сторони і поруч з люстрами дрібномасштабний орнамент. *Бічні стіни*: 2 см штукатурки. *Задня стіна* має троє дверей. По кутах розміщені дві лоджії. *Підлога*: дерев'яні дошки на лагах. Покриття підлоги – ламінат. *Килими*: на основних проходах. Килимове покриття синтетичне середньої ворсистості. *Сцена*: на бічних стінах 2см штукатурки; позаду – декорації з органних труб та колони, оздоблені скульптурами. *Сценічна підлога*: Дерев'яні дошки. *Глядацькі крісла*: спинки сидіння м'які, оббиті м'якою тканиною; підлокітники жорсткі. Концертний зал філармонії має балкон. Сцена піднесена відносно рівня партеру на висоту 1,5м.

Акустичні параметри зняті у 8-ми позиціях в партері та в 8-ми позиціях на балконі по три спроби в залежності розміщення джерела вимірювального сигналу. Джерело розміщувалось на сцені у трьох позиціях. Детальні результати подано в таблиці 2.1 додатку до розділу 2. Схема

[1] Джерело інформації – репрезентаційний буклет та Інтернет сторінка філармонії.

розміщення вимірювальних мікрофонів та джерела вимірювального сигналу зображена на рис 2.1 додатку до розділу 2. Усереднені результати акустичних параметрів подані в Таблиці 2.1.3.

RT_{mid}	EDT_{mid}	BR	Br	C_{80}	D_{50}	G_{mid}	LFC_{E4}	ITDG	$IACC_{E3}$	$ST_{(sp)mid}$
2,06с	2,02с	1,12	0,81	-1,6 дБ	30%	9,3дБ	0,29	25мс	0,44	-10,2дБ

Таблиця 2.1.3. Акустичні параметри концертного залу ім. С. Людкевича Львівської національної філармонії

Час реверберації даного залу відповідає вимогам до залів, де звучить класична музика. Тембральні параметри такі, як величина басу (BR) мають рекомендовані значення, а параметр світлості (BR) наближається до рекомендованої величини. Для звучання музики показник розбірливості (C_{80}) вписується в параметри, рекомендовані для заповнених та незаповнених залів. Показник рівня гучності (G_{mid}) переважає рекомендовані значення. Параметр присутності (ITDG) відповідає вимогам. Бінауральний коефіцієнт ($1–IACC_{E3}$) наближається до рекомендованих величин. Сценічний коефіцієнт ($ST(sp)_{mid}$) наближений до норми. Додатково, розбірливість мови (D50, C_{50} [–1,7 дБ]) наближається до рекомендованих величин. Баланс між розбірливістю та реверберацією (T_s) близько 90 мс, що регламентовано ISO 3382.

Проаналізувавши показники об’єктивних акустичних параметрів, можна сказати, що цей концертний зал відповідає стандартам звучання симфонічної та камерної музики з деякими обмеженнями рівня гучності. Для мовних параметрів у нього дещо занижені показники, тому мова може звучати нерозбірливо, особливо при значному віддалені від сцени [203].

Концертний зал Львівського національного академічного театру опери та балету імені Соломії Крушельницької. Будівництво Львівського оперного театру (тоді – Великого міського театру) розпочалося у червні

1897 року. Проектував і зводив театр відомий у Європі архітектор Зиґмунт Ґорґолевський – автор багатьох монументальних споруд у Польщі та Німеччині. Відкрився театр для глядачів 4 жовтня 1900 р. Цього вечора в приміщенні театру відбувся показ лірико-драматичної опери «Янек» В.Желенського про життя карпатських верховинців. Головну партію співав український тенор Олександр Мишуга. На львівській оперній сцені виступали всесвітньо відомі виконавці – Олександр Бандровський, Гелена Рушковська-Збоїнська, Ян Кепура, Яніна Королевич-Вайдова, Джемма Беллінчіоні, Маттіа Баттістіні, Ада Сарі та ін. Яскраву сторінку в історії театру вписали співаки-українці: О. Любич-Парахоняк, О. Руснак, Є. Гушалевич, О. Носалевич, А. Дідур, О. Мишуга, М. Менцинський, С. Крушельницька та ін., мистецтво яких стало національною гордістю народу і отримало всесвітнє визнання. З приєднанням Західної України до складу Союзу РСР Великий міський театр було перейменовано на Львівський державний театр опери та балету з підпорядкуванням його Міністерству культури України. Після Другої світової війни за диригентський пульт оперного театру стали композитори-львів'яни М. Колесса та А. Солтис. Суттєво зміцнили творчий склад театру такі митці, як В. Скляренко, М.Стефанович, П. Кармалюк, В. Кобржицький, З. Гончарова, Н. Слободян, О. Сталінський,, Г. Ісупов, О. Поспєлов та ін.. Для участі в окремих виставах запрошувалися народні артисти СРСР І.Козловський, Б. Гмиря, З. Гайдай, М.Литвиненко-Вольгемут, І. Паторжинський. У сторіччя від дня народження (1956 р.) Івана Франка, театрові було присвоєно його ім'я. У двотисячному році, в рік святкування 100-річчя театру, на прохання творчої інтелігенції Львова театр Указом Президента України було перейменовано на театр імені Соломії Крушельницької. Сьогодні Львівський театр опери та балету імені С. Крушельницької – складний творчий організм, у якому понад 500 осіб об'єднані спільною метою, але професійно поділені на цехи і колективи:

Симфонічний оркестр – 90 чоловік, солісти опери – 50 чоловік, хор – 60 осіб, балетна трупа – 60 чоловік[1].

Головні конструктивні елементи будинку зроблені з місцевого (Полянський кар'єр) вапняку, весь цоколь – із твердого тернопільського пісковика. *Стіни* отиньковані вапняним розчином. Із зовнішнього вигляду, на відміну від інших театрів того часу, не можна зробити висновок про внутрішній план розміщення ярусів. Будівництво тривало три роки і чотири місяці. Архітектурний стиль театру – псевдоренесанс, який називають ще віденським або італійським. Загалом у ньому використано деталі різних архітектурних стилів. Зал має форму підкови (ліри) (22,5 х 18,5 м) і може вмістити близько 1 тис. чол. *Сцена* піднята на висоту близько 1м відносно першого ряду і має дві завіси: протипожежну, вагою більше 12 тонн, і суто декоративну. *Декорації*: не лише розписи та скульптури, а й розкішна ліпнина, позолота, різьба (скульптори П. Гарасимович, П. Війтович, Я. Джованетті, Е, Підгірський), які в різних поєднаннях переходять на три балкони. *Ложі* партеру обрамлені колонами. *Глядацькі крісла*: спинки сидіння та підлокітники м'які, оббиті м'якою тканиною. *Перший балкон* прикрашений двадцятьма унікальними картинами на сірому мармурі. *Другий балкон* «підтримується» атлантами і каріатидами, третій – гермами.

Концертний зал Львівської опери зазнав декілька реконструкцій. Остання відбулася у 2008 р. Вона включала заміну підлоги, елементів оббивки, а також косметичний ремонт інтер'єру. Для збереження акустичних властивостей були виконані акустичні вимірювання інтер'єру, чисельне моделювання і лабораторні випробування окремих внутрішніх матеріалів (дошки, килими, облямівки). Було також зазначено, що хороший дизайн

---

[1] Джерело інформації – репрезентаційний буклет та Інтернет сторінка театру.

монтажу підлоги забезпечує найкращі характеристики звукопоглинання в діапазоні низьких частот [135; 139].

Концертний зал має форму підкови (*horseshoe-shaped plan*). Геометричні розміри становлять:

L (м)	B (м)	H (м)	S (м²)	S (м²)	S (м²)	S (м²)	S (м²)	V (м³)	V (м³)	V (м³)	V (м³)	V (м³)	N
партер	партер	партер	повна	партер	ложі	сцена	орк. яма	повний	партер	сцена	орк. яма	на особу	Кл. місць
22	18	15	590	190	400	420	65	16200	5500	10700	125	4,69	1012

Таблиця 2.1.4. Геометричні розміри та кількість місць, де L(м) – довжина, B(м) – ширина, H(м) – висота, S(м²) – площа, V(м³) – об'єм, N – кількість місць

Для покращення спектральних характеристик та запобігання виникнення ефекту луни на задній стінці підбалконового простору, що має форму півкола, було встановлено звукопоглинаючу панель (Шредер-дифузор) [136]. Сцена була піднята відносно рівня партеру на висоту 1м. Глядацькі місця м'які.

Акустичні параметри зняті у 24-х позиціях в партері та у 24-х позиціях на балконах, у центрі сцени та в оркестровій ямі по дві спроби. Детальні результати подані в таблиці 2.2 додатку до розділу 2. Схема розміщення вимірювальних мікрофонів зображена на рис 2.2 додатку до розділу 2. Усереднені результати акустичних параметрів подані в Таблиці 2.1.5.

RT_{mid}	EDT_{mid}	BR	Br	C_{50}/C_{80}	D_{50}	G_{mid}	LFC_{E4}	ITDG	$IACC_{E3}$	$ST_{(sp)mid}$
1,23с	1,07с	1,12	0,81	1,7/5,01 дБ	60%	2,32дБ	0,6	24мс	0,25	-10дБ

Таблиця 2.1.5. Акустичні параметри концертного залу Львівського національного академічного театру опери та балету імені Соломії Крушельницької

Час реверберації для цього залу, з урахуванням звукопоглинання при заповненні публікою (1,23 с), відповідає вимогам залу, де звучить мова. Але, для залу, в якому виконується класична музика такий час реверберації є замалим. Тембральний показник величини басу (BR) наближається до рекомендованої величини. Тембральний параметр світлості (BR) дещо нижчий за рекомендований показник. Розбірливість мови (C_{50}) наближається до рекомендованих величин. Для звучання музики показник розбірливості (C_{80}) є завеликим і не вписується в параметри, рекомендовані для заповнених та незаповнених залів. Рівень розбірливості мови (D_{50}) відповідає вимогам. Показник рівня гучності (G_{mid}) занижений. Параметр присутності (ITDG) відповідає вимогам. Бінауральний коефіцієнт (1-$IACC_{E3}$) наближається до рекомендованих величин. Показник акустичного комфорту в оркестровій ямі ($ST_{(sp)}$) наближений до рекомендованих величин. Баланс між розбірливістю та реверберацією (T_s) близько 70 мс, що регламентовано ISO 3382.

Проаналізувавши показники об’єктивних акустичних параметрів можна сказати, що зал оперного театру придатний для виконання таких жанрів, як опера, оперета, де на перший план виходить розбірливість мови, та не зовсім надається для виконання симфонічної та камерної музики. Для мовних параметрів його показники відповідають установленим нормам. Але в силу своїх розмірів при значному віддалені від сцени рівень гучності мови буде падати, що позначиться на її сприйнятті.

Концертний зал будинку органної та камерної музики знаходиться у колишньому римо-католицькому костелі св. Марії Магдалини. Він був збудований на початку XVII ст., на пагорбі, з видом на місто, на злитті

вулиць Сікстинської та Сапіги[1]. Та попередня будівля являє собою сьогоднішній вівтар, подовжений, багатокутний, з великими вікнами на південь [140].

У 1932 р. тут було встановлено виготовлений у Чехії орган, найбільший на території України. В радянський період у будинку певний час був навіть спортивний зал, а в кінці 1960-х рр. будівлю було пристосовано під органний зал Львівської консерваторії імені М. Лисенка. Тепер Будинок органної та камерної музики веде розмаїту концертну діяльність. Окрім цього, від 1998 р. тут відбуваються римо-католицькі богослужіння[2].

Зал умовно поділяється на дві частини з двома сценами (одна справжня основна з органом, друга – вівтарна частина, де іноді проводяться концерти). Перша частина, що примикає до справжньої сцени, має форму чотирикутника та є більшою за розмірами. Друга – менша і вужча, є продовженням першої. Під час концертів на сцені вівтар костелу зазвичай закритий завісою. Геометричні розміри становлять:

L(м)	B(м)	H(м)	L(м)	H(м)	S(м²)	S(м²)	V(м³)	V(м³)	N
партер	партер	партер	сцена	сцена	партер	сцена	партер	сцена	кл.мсц.
35,15	19,24	22	11,40	21	714,4	84,66	15716,8	1777,8	380

Таблиця 2.1.6. Геометричні розміри та кількість місць, де L(м) – довжина, B(м) – ширина, H(м) – висота, S(м²) – площа, V(м³) – об'єм, N – кількість місць

Стеля: вигнута форма; близько 2 см штукатурки; по обидві сторони і поруч із люстрами – дрібномасштабний орнамент. *Бічні стіни*: мармурові

[1] Теперішні С.Бандери та Дорошенка.
[2] Джерело – Інтернет сторінка концертного залу.

плити висотою 3м від підлоги – в меншій частині залу та колони – у більшій. У цій частині залу мармурові плити на бічних стінах мають висоту 1,5 м. Вище мармурової кладки – штукатурка. *Задня стіна:* має форму рівнобедреної трапеції, але переважно – це завіса, що закриває вівтар. *Підлога*: пресовані та поліровані кам’яні плити. *Сцена*: у глибині (позаду) органні труби і троє дверей. *Сценічна підлога*: дерев'яні дошки. *Глядацькі місця*: тверді, не розділені з рухомими спинками, які можна повертати залежно від того, яка сцена використовується. *Сцена основна*: піднята відносно рівня партеру на висоту 1,2 м. По обидві сторони глядацьких місць колони.

Акустичні параметри зняті в шести позиціях в партері та в центрі сцени по дві спроби. Детальні результати подані в таблиці 2.3 додатку до розділу 2. Схема розміщення вимірювальних мікрофонів зображена на рис 2.3 додатку до розділу 2. Усереднені результати акустичних параметрів подані в Таблиці 2.1.7.

RT_{mid}	EDT_{mid}	BR	Br	C_{80}	D_{50}	G_{mid}	LFC_{E4}	ITDG	$IACC_{E3}$	$ST_{(sp)mid}$
4,3с	3,9с	1,5	0,67	-6,4 дБ	12%	21,2дБ	0,1	40мс	0,6	2,2дБ

Таблиця 2.1.7. Акустичні параметри концертного залу Будинку органної та камерної музики

Цей концертний зал з огляду на великий час реверберації не відповідає стандартам звучання симфонічної та камерної музики. Натомість він повністю відповідає стандартам для виконання органних творів [61; 140]. Через достатньо великі значення величин ранніх відбиттів (EDT) та час реверберації (RT) при виконанні симфонічних та камерних творів виникає відчуття невідповідності розмірів приміщення та музики, що звучить у ньому. Тембральні показники (BR, Br) дещо занижені за рахунок достатньо великого об’єму, форми залу та наявності колон, оздоблених скульптурами.

Параметри чистоти, прозорості (C_{80}), розбірливості (D_{50}) мають значення нижчі за рекомендовані, що частково впливає на розбірливість звучання, особливо мови та локалізацію джерела. Показник рівня гучності виконання музики (G_{mid}) більший від рекомендованих величин. Бінауральний показник ($IACC_{E3}$) та коефіцієнт бічної енергії (LFC_{E4}) не відповідають рекомендованим величинам за рахунок форми залу, який занадто вузький та довгий. Показник акустичного комфорту на сцені є значно більшим за рекомендований, що може викликати дискомфорт у музикантів під час виконання музичних творів. Баланс між розбірливістю та реверберацією (T_s) становить близько 220 мс, що вказує на недостатню розбірливість та наближається до граничних рекомендованих значень згідно ISO 3382.

Концертний зал Національного академічного українського драматичного театру імені Марії Заньковецької побудований у класичному стилі та відкритий у Львові 28 березня 1842 року за сприянням графа Станіслава Скарбка за проектом Людвіґа Пільха та Йогана Зальцмана. Концертний зал мав форму підкови та налічував 1460 місць. Мав партер, бічні 54 ложі, чотири балкони. Оркестрова яма вміщувала 40 музикантів. Від 1900 до 1939 року в будинку театру розміщувалась філармонія. Від 1944 року в цьому приміщенні працює трупа театру імені Марії Заньковецької. Оркестр театру Заньковецької провадить велику гасрольно-концертну діяльність. У репертуарі оркестру є також симфонічні та камерні твори. Оркестр також реалізує проект «Відчинилося життя» – благодійні концерти за спільної участі оркестру, талановитих незрячих вокалістів з різних куточків України і відомих оперних та естрадних артистів[1].

---

[1] Джерело – репрезентаційний буклет та Інтернет сторінка театру.

Зал має форму підкови. Геометричні розміри становлять:

L(м)	B(м)	H(м)	S(м²)	S(м²)	S(м²)	V(м³)	V(м³)	V(м³)	V(м³)	N
партер	партер	партер	повна	партер	сцена	повна	партер	сцена	осб.	кл.мсц.
20	16	19,5	440	230	410	10100	4500	5600	5,63	799

Таблиця 2.1.8. Геометричні розміри та кількість місць, де L(м) – довжина, B(м) – ширина, H(м) – висота, S(м²) – площа, V(м³) – об'єм, N – кількість місць

Стеля: вигнута форма; 2 см штукатурки;. *Бічні стіни*: штукатурка. *Задня стіна:* штукатурка. *Підлога*: дерево. *Килими*: на основних проходах. Килимове покриття синтетичне середньої ворсистості. *Сцена*: класична театральна є завіса антрактна та куліси. *Сценічна підлога*: Дерев'яні дошки, обертове коло діаметром 14 м. *Глядацькі крісла*: спинки сидіння та підлокітники м'які, оббиті м'якою тканиною. *Сцена:* піднята відносно рівня партеру на висоту 1,2 м. Концертний зал має два балкони.

Акустичні параметри зняті в 15 позиціях в партері, в 14 позиціях на балконах (разом 29) та додатково в центрі сцени та оркестровій ямі (ST(sp)). Детальні результати подано в таблиці 2.4 додатку до розділу 2. Схема розміщення вимірювальних мікрофонів зображена на рис. 2.4 додатку до розділу 2 [24; 146]. Усереднені результати акустичних параметрів подані в Таблиці 2.1.9.

RT_{mid}	EDT_{mid}	BR	Br	C_{50}/C_{80}	D_{50}	G_{mid}	LFC_{E4}	ITDG	$IACC_{E3}$	$ST_{(sp)mid}$
1,5с	1,37с	1,61	0,67	-0,29/2 дБ	57%	2,4 дБ	0,2	24мс	0,23	-10дБ

Таблиця 2.1.9. Акустичні параметри концертного залу Національного академічного українського драматичного театру імені Марії Заньковецької

Час реверберації, з урахуванням звукопоглинання заповненого публікою залу, відповідає вимогам до театрів, де розбірливість мови

винесена на перший план. Відповідно до цих вимог, для приміщення з об'ємом 4500 м^3, що відповідає цьому залу, час реверберації в діапазоні частот від 500 Гц до 4 кГц становить близько 1,2 с ± 10% [42, с. 66]. Час реверберації (RT) трохи довший, ніж час ранніх відбиттів (EDT) та трохи менший за стандарти щодо концертних залів, у яких звучить класична музика. Співвідношення розбірливості мови (C_{50}) із прозорістю звучання музики (C_{80}) відповідає вимогам. Показник величини басу (BR) трохи більший, а світлості (Br) – менший за рекомендовані. Параметр присутності (ITDG) знаходиться в межах норми. Бінауральний коефіцієнт, що відповідає за відчуття ширини джерела звуку, наближається до рекомендованої величини (1-$IACC_{E3}$). Показник акустичного комфорту в оркестровій ямі ($ST_{(sp)}$) знаходиться в рекомендованих межах. Баланс між розбірливістю та реверберацією (T_s) близько 70 мс, що регламентовано ISO 3382.

Проаналізувавши зазначені показники об'єктивних акустичних параметрів, можна сказати, що цей концертний зал підходить для таких жанрів, як театральна вистава та оперета, де на перший план виходить розбірливість мови. Зал також можна певною мірою рекомендувати для виконання симфонічної та камерної музики. Для мовних параметрів в нього показники відповідають встановленим нормам. При значному віддалені від сцени рівень гучності мови може падати, що позначиться на її сприйнятті.

На даний час у залі проводяться реставраційні та ремонтні роботи із збереженням оптимальних значень параметрів природної акустики. Завданням є збереження акустичного комфорту в історичних інтер'єрах, де є багато ламаних поверхонь та архітектурних деталей, які формують внутрішнє дифузне поле. Передбачається заміна покриття підлоги, оббивки крісел, реставрація та відновлення інтер'єру до ймовірного історичного стану із застосуванням сучасних матеріалів і технологій відповідно до норм.

Великий зал Львівської національної музичної академії імені М. В. Лисенка. Львівська національна музична академія імені М. В.

Лисенка – вищий навчальний заклад у Львові, заснований 1853 р. на базі музичної школи, відкритої галицьким музичним товариством «Союз співацьких і музичних товариств». У 2007 р. заклад отримав теперішню назву. Музична академія використовує колишній будинок Технологічного інституту (професійної установи для промисловців і ремісників), збудований у 1907—1909 рр. архітектором Тадеушем Обмінським (архітектурне бюро Івана Левинського). Будинок зведено у стилі модерн[1].

Зал має форму чотирикутника. На бічних стінах – вікна по всій довжині залу та майже в повну висоту. Геометричні розміри становлять:

L(м)	B(м)	H(м)	L(м)	H(м)	S(м²)	S(м²)	V(м³)	V(м³)	N
партер	партер	партер	сцена	сцена	партер	сцена	партер	сцена	кл.місць
13,6	9,3	8,2	5,8	8	126,48	42.92	1037,14	343,4	208

Таблиця 2.1.10. Геометричні розміри та кількість місць, де L(м) – довжина, B(м) – ширина, H(м) – висота, S(м²) – площа, V(м³) – об'єм, N – кількість місць

Стеля: 2 см штукатурки; по всій площі дрібномасштабний орнамент. *Бічні стіни*: штукатурка 2 см; вікна по висоті залу. *Задня стіна:* штукатурка 2 см. *Підлога*: покриття – ламінат. *Килим*: на основних проходах. Килимове покриття синтетичне середньої ворсистості. *Сцена*: штукатурка 2 см. *Сценічна підлога*: ламінат. *Глядацькі місця*: тверді, нерозділені. Сцена піднята відносно рівня залу на висоту 0,4 м.

Акустичні параметри зняті в шести позиціях в партері та в центрі сцени по дві спроби. Детальні результати подані в таблиці 2.5 додатку до розділу 2. Схема розміщення вимірювальних мікрофонів зображена на рис. 2.5 додатку до розділу 2. Усереднені результати акустичних параметрів подані в Таблиці 2.1.9.

---

[1] Джерело – Інтернет сторінки львівських сайтів.

RT_{mid}	EDT_{mid}	BR	Br	C_{80}	D_{50}	G_{mid}	LFC_{E4}	ITDG	$IACC_{E3}$	$ST_{(sp)mid}$
1,6с	1,66с	1,88	0,79	-0,35 дБ	43,4%	10дБ	0,19	12мс	0,47	-2,75дБ

Таблиця 2.1.10. Акустичні параметри концертного залу Львівської національної музичної академії імені М. В. Лисенка

З огляду на те, що показники часу реверберації (RT) та часу згасання ранніх відбиттів (EDT) наближаються до рекомендованих величин, можна сказати, що цей зал певною мірою відповідає стандартам звучання оркестрової класичної музики. Це підтверджується тембральними показниками такими, як BR та Br, які також близькі до норми. Розбірливість звучання музики (C_{80}) є також в межах норми. Показник сили звучання (G_{mid}) значно перевищує рекомендовані параметри і вказує на можливість тембрального спотворення при великих рівнях звуку. Бінауральний коефіцієнт, що відповідає за видиму ширину джерела звуку ($IACC_{E3}$), занижений. Показник рівня бічної енергії (LFC_{E4}) – в межах норми. Показник присутності (ITDG) нижчий за рекомендований, що може викликати відчуття надмірної близькості до джерела. Сценічний коефіцієнт ($ST_{(sp)mid}$) значно перевищує рекомендовані межі, що спричиняє певний дискомфорт для музикантів. Баланс між розбірливістю та реверберацією (T_s) близько 90 мс, що регламентовано ISO 3382.

Аналізуючи описані акустичні показники, можна сказати, що цей зал найкраще відповідає звучанню камерних оркестрів та камерних ансамблів, і меншою мірою надається для виконання симфонічної музики, оскільки розміри залу не відповідають (замалі) для звучання великих складів оркестрів.

Як продемонстрували дослідження, одних лише об’єктивних параметрів для оцінки акустичних властивостей концертних залів є недостатньо. Тому поряд з об’єктивними параметрами використовують

суб’єктивне оцінювання якості звучання. Об’єктивні параметри та суб’єктивне оцінювання пов’язані (тобто корелюються) між собою.

2.2. Критерії суб’єктивної оцінки звучання оркестрів наживо та в записі

На формування просторового звукового образу в процесі звучання оркестру в концертному залі безпосередньо впливають його акустичні властивості. Вони оцінюються за допомогою об’єктивних акустичних параметрів. Але дослідження показали, що одних об’єктивних параметрів недостатньо для того, щоб оцінити звучання оркестрів наживо. Для повної характеристики звучання оркестру в концертному залі використовують суб’єктивне оцінювання за критеріями встановленого зразка. Об’єктивні параметри та суб’єктивна оцінка пов’язані між собою, тобто корелюються.

Здійснення суб’єктивної оцінки акустики концертних залів вимагає вибору методу, критеріїв оцінки та встановлення їх зв’язку з об’єктивними параметрами.

Існує три методи для визначення суб’єктивної акустичної якості звучання, запропонованих Л. Беранеком [57]:

1) метод стереофонічного порівняння;

2) метод незалежного прослуховування і прийняття рішення групою експертів;

3) метод анкетування та інтерв’ювання.

Метод стереофонічного порівняння передбачає використання мікрофонної системи типу голова манекена (*Dummy-Head*), у вушні раковини якої вмонтовано мікрофони. В ідеальному випадку в залі повинно бути розміщено декілька таких систем. Для оцінки особливості звучання оркестрів в концертних залах та якості акустики залів необхідно провести серію записів на концертах. Ці записи мають бути представлені для прослуховування кваліфікованим експертам в акустично глухій кімнаті

(*anechoic chamber*) для суб'єктивної оцінки звучання і для ранжування акустичних якостей досліджуваних залів. Прослуховування ведеться через еталонні контрольні агрегати або через навушники. На основі цього методу було виділено п'ять критеріїв: гучність, реверберація, чистота звуку, ступінь відмінності звуків у двох вухах, величина низькочастотного тону (тембр). В подальших дослідах додався ще один, шостий, критерій – інтервал між початковим часом і затримкою [57, с. 186].

Метод прослуховування і незалежного прийняття рішення групою експертів передбачав відвідування групою експертів концертів у концертних залах і заповнення анкет, в яких вони дають оцінку акустичних властивостей концертних залів та якості звучання музики в них. У результаті цих анкетувань додались ще два критерії. Це: інтимність (близькість, присутність) і обгортання (просторовість) [42, с. 39; 44].

Метод анкетування та інтерв'ювання передбачав опитування музикантів, диригентів та музичних критиків. Їх попросили детально описати акустику добре відомих залів а потім ранжувати їх за якістю [57].

За допомогою цих методів та на основі особистого досвіду Л. Беранеком було вибрано вісімнадцять критеріїв суб'єктивної оцінки різних залів, а з них – запропоновано десять найбільш значущих і незалежних. До найбільш вживаних критеріїв суб'єктивного оцінювання акустичної якості концертних залів належать: життєвість (liveness), повнота звуку (fullness), розбірливість, або ясність (definition, clarity), інтимність (intimacy), теплота (warmth), просторовість (spaciousness), гучність (loudness), баланс (balance), ансамбль (ensemble), тембр (timbre). Також слід враховувати і негативні фактори такі, як луна (відлуння), шуми, тощо. Можуть додаватись також інші параметри, наприклад, однорідність (uniformity), атака (attack), текстура (texture) [56].

Для концертних залів та оперних театрів на першому плані стоїть якість звучання музики та співу, хоча при цьому повинна бути забезпечена

розбірливість. Тому надзвичайно важливими є такі суб'єктивні характеристики, як просторовість, прозорість (ясність), тембр, життєвість, повнота, баланс та ін. Ці суб'єктивні характеристики повинні бути строго збалансовані. Наприклад, якщо збільшувати просторовість (повноту), то це може вплинути на прозорість (ясність). В працях Л. Беранека були запропоновані такі оптимальні параметри для оперних театрів: $RT_{occ.m}$ = 1,5 с для класичної опери, і $RT_{occ.m}$ = 1,7 с – для опер Вагнера (час реверберації на середніх частотах для заповнених залів); ITDG = 20-24 мс (час прибуття перших відбиттів) [59; 62]. Решта об'єктивних параметрів показані в таблиці 1.1 додатку до розділу 1 для найбільш відомих оперних театрів [62].

Встановимо суб'єктивні критерії оцінювання та їхні об'єктивні акустичні кореляти для живого виконання.

№	Суб'єктивні критерії	Що характеризують	Об'єктивні кореляти
1	**2**	**3**	**4**
1	Просторовість, просторова перспектива	Просторове враження, глибину, звукову перспективу, об'ємність, життєвість	RT_{mid}, EDT_{mid}
2	Ширина	Видиму ширину джерела звуку, горизонтальне відчуття ширини, локалізація джерел звуку	$IACC_{E3}$, LF_{E4}
3	Тембр	Багатство звуку, звучання спектрів верхнього (світлість, ясність, яскравість), середнього та нижнього (теплота, м'якість) частотних діапазонів	BR, Br
4	Чистота, прозорість, розбірливість	Розбірливість мелодичної та гармонічної лінії, партій музичних інструментів	$C_{80(3)}$, T_s,
5	Розбірливість	Розбірливість мови	$C_{50(3)}$, T_s, D_{50}
6	Гучність, динамічний діапазон	Рівень звучання, динамічні контрасти (різниця між «p» і «f»), динамічні відтінки	G_M
7	Близькість, присутність	Близькість до джерела	ITDG
8	Підтримка, взаємодія (музиканти оркестру)	Можливість музикантів чути себе та інших музикантів оркестру і здійснювати слуховий контроль виконання	$ST_{(sup)mid}$

Табл. 2.2.1. Суб'єктивні критерії оцінки та їхні об'єктивні кореляти для живого виконання

Критерій *обгортуваність* (обгортання звуком), описаний вище, характеризується тембром низького частотного діапазону та частково критеріями просторовості та ширини. Тому в анкету цей критерій не включений.

Також потрібно враховувати додаткові суб'єктивні критерії, які слід використовувати при оцінюванні звучання оркестрів. Вони проявляються в процесі звучання оркестрів, ансамблів, хорів. Це такі критерії, як: *баланс*, *текстура*, *шумові перешкоди* та *загальне враження* [10].

Для оцінювання записів оркестрів використовують тільки суб'єктивну оцінку також за допомогою критеріїв встановленого зразка. Характеристика суб'єктивних критеріїв для оцінки живого виконання частково співпадає з характеристиками критеріїв для оцінки записів. Аналізуючи суб'єктивні критерії, запропоновані різними авторами, можна помітити велику розбіжність у їх кількості та назвах. Шкала балів, за якою проводиться оцінювання, також варіюється в межах від 5 до 12. Сама форма анкети є досить довільною та, в багатьох випадках, незрозумілою для учасників опитування.

Вивчаючи попередній досвід, було встановлено, що оцінка живого виконання та записів за критеріями в багатьох випадках використовує подібну або, часом, однакову термінологію. Враховуючи це, пропонуємо використати однакову термінологію суб'єктивного оцінювання музичного матеріалу в обох випадках за винятком деяких, що не характерні певному відтворенню.

Для оцінювання звучання прийняті *початкові умови*, згідно яких оркестри професійні та укомплектовані професійними музикантами, інструментування та виконання професійно бездоганні.

На основі вищесказаного та узагальнюючи попередній досвід ми розробили *анкету* опитування за суб'єктивними критеріями для живого виконання оркестрів та їх записів (див. додаток до розділу 2, табл. 2.1, 2.2).

Для суб’єктивної оцінки акустики концертних залів та якості звучання в них оркестрів ми запропонували такі методи:

- метод незалежного прослуховування і прийняття рішення групою експертів із заповненням анкет;
- метод анкетування та інтерв’ювання;

В опитуванні взяли участь 350 учасників. Серед них звукорежисери, композитори, диригенти, музиканти, музичні критики та регулярні відвідувачі концертів та вистав (власники музичного абонемента). Було заповнено 336 (96%) анкет. На додаток були проведені співбесіди із звичайними шанувальниками симфонічної музики – непрофесіоналами. Більшість учасників заповнили анкети, що стосувалися декількох досліджуваних залів. В середньому на один зал припадало від 40 до 90 анкет. Вік учасників складав від 20 до 60 років. Серед музикантів було багато артистів львівських симфонічних та камерних оркестрів. Також чимало респондентів було студентами Львівської музичної академії імені М. В. Лисенка. Опитування є репрезентативним і охоплює музикознавчі соціальні сфери [20, с. 218].

Суб’єктивна оцінка проводилась за такими критеріями: просторовість, просторова перспектива; ширина; тембр; чистота, прозорість, розбірливість; гучність, динамічний діапазон; близькість, присутність; текстура; звуковий баланс; підтримка, взаємодія (для музикантів оркестру); шумові перешкоди; загальне враження. Учасникам було запропоновано оцінити звучання за шкалою від 1 до 5, що показано в таблиці 2.2.2.

Дуже погано	Погано	Задовільно	Добре	Відмінно
1	2	3	4	5

Табл. 2.2.2. Рейтингова шкала

Для коментарів запропоновано приклади описової термінології, що показано в таблиці 2.2.3.

№	**Суб'єктивні критерії**	**Приклади термінології опису**
1	Просторовість	Звучання: Об'ємне / вузьке. Перспектива: Довга / коротка
2	Ширина	Широкий / вузький; Великий / малий
3	Тембр	Багатий / бідний; Теплий / холодний; Світлий, блискучий, яскравий / тьмяний
4	Чистота, прозорість, розбірливість	Звучання: Чисте, ясне / невиразне; Розбірливе/нерозбірливе
5	Гучність, динамічний діапазон	Голосно / тихо. Широкий / вузький
6	Близькість, присутність	Близький / далекий
7	Текстура	Гладка / строката
8	Звуковий баланс	Збалансовано / не збалансовано
9	Підтримка, взаємодія	Добре / погано
10	Шумові перешкоди	Невідчутні / відчутні

Таблиця 2.2.3. Термінології опису

При безпосередньому прослуховуванні у кожній анкеті учасник вказував концертний зал, оркестр або ансамбль, назву творів, що прозвучали, жанрову приналежність (опера, балет, симфонія тощо), ряд, місце і дату концерту. Якщо використовувалась форма співбесіди, то спеціалісти давали загальну характеристику звучанню оркестрів у кожному досліджуваному залі. В подальшому заповнювалась анкета з відповідною загальною оцінкою. Музиканти оркестрів заповнювали графу, що характеризує відчуття музичного комфорту на сцені, тобто чутність себе та інших музикантів оркестру. Такі критерії, як художня якість (виконавство), інструментування та аранжування в силу прийнятих початкових умов не були включені в анкету. Повністю зразок анкети подано в додатку до розділу 2 [10].

Прослуховування записаного матеріалу повинно здійснюватись у приміщенні, що відповідає умовам прослуховування, та через еталонні контрольні агрегати. Нижче наведено короткий огляд параметрів та інші

вимоги до акустичної презентації, як зазначено в EBU документа Tech. 3276 [95]. Вони також значною мірою відповідають вимогам, наведеним у Рекомендації MCE-R BS.1116 [132].

- Вимоги до звукового поля контрольної кімнати повинні задовольняти допустимим нормам:

Якість прямого звуку суттєво залежить від параметрів контрольних агрегатів. Рівень ранніх відбиттів до 15 мс повинен бути принаймні на 10 дБ нижчим за рівень прямого сигналу для всіх частот в діапазоні від 1 кГц до 8 кГц. Реверберaційне поле має бути достатньо дифузним, щоб уникнути ефекту тремтячої луни (flutter echoes). Допустимий час реверберації повинен знаходитись в межах 0.2 – 0.4 с в діапазоні 200 – 4000 Гц. Оперативні криві відгуку кімнати повинні відповідати визначеним границям в кожній третині октавних смуг в діапазоні 200 – 4000 Гц. Рівень прослуховування встановлюється (для рожевого шуму) регулюванням гучності контрольних агрегатів так, щоб рівень звукового тиску в контрольній точці прослуховування відповідав умові:

$L_{LISTref} = (85 – 10 \log n)$ дБ, де n – кількість каналів відтворення [95].

Рівень шумів не повинен перевищувати допустимого рівня, встановленого для рівня звукового тиску (SPL) фонового шуму, і не має перевищувати Noise Rating Curve, коли NR = 15, а краще NR = 10. Вони не можуть мати помітний імпульсивний, циклічний або тональний характер.

- Геометричні умови прослуховування:

Висота акустичного центру гучномовця монітора повинна бути не меншою за 1,2 м над рівнем підлоги, і кут нахилу його осі відносно горизонтальної площини не повинен перевищувати 10°. Вісь відліку монітора має перетинати контрольну точку прослуховування на висоті вух людини, що сидить.

Якщо монітори не встановлені в стіні, відстань їх акустичного центру від оточуючих стін не повинна бути меншою за 1 м. Всі положення для

прослуховування повинні бути розташовані щонайменше на відстані 1,5 м від бічних стін і задньої стіни кімнати.

Для стереофонічного прослуховування два монітори повинні бути розміщені на відстані 2 – 4 м між собою, та розташовані в контрольній кімнаті, як це зображено на рис. 2.2.1.

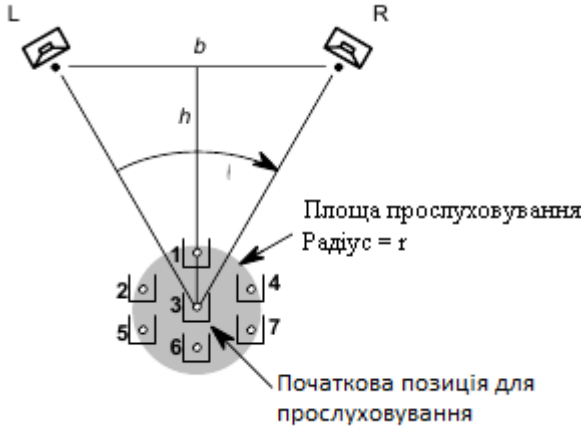


Рис. 2.2.1. Типовий план для стерео прослуховування (b=2-4м, h=±0,9 b, i= ± 60°, r=0,8м) (EBU Tech. 3276 – 2nd edition)

При використанні басового монітора, місце його розміщення вибирають якнайдалі від основних моніторів для запобігання взаємного впливу та спотворення АЧХ в області низьких частот.

Розміри контрольної кімнати повинні задовольняти такі умови: мінімальна площа 40 м^2 для типових, і 30 м^2 – для високоякісних. Об’єм не повинен перевищувати 300 м^3. Геометричні пропорції, що визначаються відношенням довжини до висоти та ширини до висоти задовольняють умови: $1.1w / h \leq l / h \leq 4.5w / (h - 4)$; $l < 3h$; $w < 3h$, де l – більші розміри поверхні; w – менші розміри поверхні; h – висота.

Слід уникати цілих чисел в межах 5% у відношеннях між l, w, h. Відповідність конструкції значно підвищує якість акустичного середовища [95].

- Вимоги до контрольних моніторів:

Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) вимірюється з кроком 1/3 октави (в кожній третині октавних смуг) за допомогою тестового сигналу (рожевий шум). Виміри проводяться на головній осі. Крива АЧХ повинна знаходитися в межах допустимого відхилення в смузі 4 дБ в діапазоні частот від 40 Гц до 16 кГц. Коефіцієнт напрямленості гучномовця D, в діапазоні від 250 Гц до 16 кГц, повинен бути в межах: $4 \leq D \leq 12$ дБ. Коефіцієнт нелінійних спотворень (при синусоїдальному тестовому сигналі) повинен знаходитись в межах: 40 Гц < f < 250 Гц – 30 дБ (3%), 250 Гц < f < 16 кГц – 40 дБ (1%). Час згасання t_s, при використанні синусоїдального тонального сигналу, не повинен перевищувати наступні межі: $t_s \leq 2.5 / f$, де f – частота.

Максимальний рівень оперативного звукового тиску (SPL), який гучномовець може продукувати за період в межах 10 хвилин без теплового або механічного пошкодження і без перевантаження активних схем, становить: $L_{eff\text{-}max} \geq 108$ дБ. Рівень власних шумів не повинен перевищувати: $L_{noise} \leq 10$ дБ(А) [95].

Спосіб, описаний нижче, був розроблений для оцінки якості класичних музичних програм, тобто програм симфонічної, камерної, оркестрової, хорової музики, опери та сольних виступів. Цей спосіб також може бути застосований до інших видів «акустичної» музики.

Класичні музичні програми є одними з найбільш дорогих та цінних продуктів мовних компаній. Отже, керівники програм мають життєво важливий інтерес в отриманні та збереженні максимальної якості.

Суб’єктивна оцінка якості звучання музичних записів опирається на рекомендації, що розроблені міжнародними організаціями радіо і телебачення для успішного обміну музичними програмами. Це колишні OIRT (Organisation Internationale de Radiodiffusion et de Télévision), ITU-R

(International Telecommunication Union – Radiocommunication Sector[1]), EBU (European Broadcasting Union). Вони розробляли загальні правила для оцінки суб’єктивних якостей фонограм, що описані в серії EBU рекомендацій, технічних документах та інших опублікованих матеріалах. Зокрема, технічну й виробничу якість звуку програмного матеріалу, яку можна контролювати тільки шляхом суб'єктивної оцінки у визначених умовах, детально описано в документі EBU Tech. 3286 [97].

За вимогами, розробленими на основі рекомендацій OIRT та інших міжнародних організацій, оцінка якості аудіоматеріалу складається із десяти пунктів, а саме: 1) просторове враження; 2) прозорість; 3) музичний баланс; 4) тембр; 5) стереофонічний ефект; 6) художня якість; 7) звукорежисерська техніка; 8) інструментування та аранжування; 9) динамічний діапазон; 10) перешкоди [35].

Перші шість основних параметрів (критеріїв) включають певну кількість допоміжних параметрів оцінки (суб-параметрів). Суб-параметри (суб-критерії) можна розглядати як докладний опис основних параметрів. Існує тісний зв'язок між суб-параметрами, поточною технологією виробництва та акустичними властивостями контрольної кімнати.

---

[1] Колишня CCIR – Consultative Committee on International Radio.

Критерії	**Суб-критерії**	**Приклади термінології опису**
Просторове враження		
Відчуття відповідного просторового середовища	Однорідність просторового звуку; Реверберація; Акустичний баланс; Співмірність розмірів; Перспектива глибини; Реверберацiйний звуковий колір;	Об’ємний / вузький; Прямий / непрямий; Довгий / малий
Стереофонічний ефект		
Розподіл звукових джерел має визначений характер	Баланс у кожному напрямку; Стабільність; Ширина звукового образу; Точність локалізації;	Широкий / вузький; Точний / неточний
Прозорість		
Чітко сприймаються всі деталі виконання	Визначення джерел звуку; Часові визначення; Розбірливість;	Чистий / брудний
Звуковий баланс		
Окремі джерела звуку повністю збалансовані в загальній звуковій картині	Баланс звукових рівнів; Динамічний діапазон;	Джерело звуку звучить, занадто голосно / занадто слабо; Перекомпресовано / натурально
Тембр		
Точне зображення різних характеристик у джерелі звуку	Колір звуку; Атака звуку;	Гулкий / строкатий; Темний / світлий; Теплий / холодний
Відсутність перешкод		
Відсутність різних неприємних явищ	Електричні перешкоди, Акустичні шуми, Громадський шум, Цифрові помилки, Спотворення і т.д	Відчутні / невідчутні порушення
Загальне враження		
Суб'єктивне середньозважене значення за попередні шість параметрів з урахуванням цілісності і взаємодії різних параметрів.		

Табл. 2.2.4. Параметри та приклади термінів для опису

Просторове враження (*spatial impression*) – повинно викликати у слухача відчуття присутності, перебування із джерелом звуку в одному просторі, перспективи в глибину і ширину, тобто створювати ілюзію різних відстаней до квазіоб'єктів, що є джерелами звуку. Таким чином, аудіозапис має створювати відчуття присутності в приміщенні, де відбувається концерт. Якщо ж ми маємо аудіовізуальний продукт, то просторове звукове враження повинно співпадати зі сприйнятим зоровим образом.

Стереофонічний ефект (*stereo impression*) – відчуття просторового розподілу звукових джерел уздовж стереобази зліва-направо по горизонталі. Разом із просторовим відчуттям, яке дає ілюзію зміщення об'єкта вглибину звукової картини, він забезпечує відчуття ефекту присутності та акустичну атмосферу події. Варто взяти до уваги той факт, що ми маємо справу із квазіоб'єктами, а саме – фантомними джерелами звуку в просторі, що визначає стереобаза. Це дуже добре відповідає критеріям оцінки академічної музики, де присутність у концертному залі є найбільш сприятливою умовою. Сучасна електронна музика, а також різноманітні саундтреки широко застосовують психоакустичні ефекти, які дають можливість розширити просторове відчуття і вийти за межі стереобази.

Прозорість (*definition, transparency*) – визначається як розбірливість аудіоматеріалу. Це реалістичне сприйняття кожного із компонентів звукової картини: чутність усіх звукових ліній музичної партитури, чіткість дикції та розбірливість текстового матеріалу мовних елементів, максимально зменшений ефект маскування при одночасному звучанні усіх компонентів звукової картини. При переході від моно- до стереозвучання прозорість звукової картини значно покращується за рахунок розміщення в стереобазі фантомних звукових джерел.

Звуковий (музичний) баланс (*sound balance*) – це співвідношення звучання окремих груп інструментів, або окремих солістів, у загальній звуковій картині. Для звукорежисера надзвичайно важливим є знайти

правильний музичний баланс, шляхом розташування мікрофонів при звукозапису. Якщо оркестр добре збалансований у студії, то, як правило, досягти музичного балансу в записі набагато легше.

Тембр (*sound color, timbre*) – специфічне забарвлення звуку за рахунок обертонів. Саме завдяки тембру людський слух розрізняє одинакові за висотою та гучністю звуки. Кожен звуковий образ містить природність та багатство тембрового наповнення, наявність лейт-мотивів, лейт-образів, тонке нюансування звучання соліста (лейт-тембр), його емоційний стан, відповідність тембрового забарвлення зоровому образу та багато інших рис.

Перешкоди (*freedom from noise and distortions*) – це шуми, що виникають під час звукозапису (шелест перегортання сторінок, стукіт клапанів музичних інструментів, скрип паркету, шум глядацького залу, інтершуми тощо). Також до перешкод належать електромагнітні перешкоди, фон, шуми процесу (тракту) звукопередачі, а також можливі, відчутні на слух перешкоди. Наприклад, місця монтажу, склейки, вплив динамічної обробки. При застосуванні цифрових технологій шум тракту звукозапису доведений до рівня –120 дБ., на відміну від аналогових технологій, де допустимий рівень шуму становив –60 дБ.

Додатково можна виділити ще такі критерії, які безпосередньо пов’язані із основними суб’єктивними оцінками [133].

Художня якість (*виконавство*) залежить від професійного рівня музикантів, співаків, акторів. Сюди належить: дотримання художнього стилю, форми, особливостей жанру, трактування художнього образу, виконавська техніка, артикуляція, інтонація, чистота інтонування і т. д.

Звукорежисерська техніка (*техніка прийому звуку*) в усіх аспектах залежить від професійного рівня звукорежисера. Це: правильність застосування мікрофонів, техніка мікшування (зведення) аудіоматеріалу, доцільність застосування обробки, спецефектів, психоакустичних приладів тощо. Всі ці моменти є надзвичайно та однаково важливими.

Інструментування та аранжування пов'язані з прозорістю. Непрофесійно зроблена інструментовка або аранжування музичного твору не дасть можливості звукорежисеру якісно зробити зведення. Перенасиченість музичної фактури зробить музичний твір непридатним для запису та зведення.

Динамічний діапазон (*dynamic range*) дає відчуття інтенсивності звучання в рамках технічних умов. Під цим терміном також розуміють різницю між найтихішим та найгучнішим рівнями звучання (моментами) в аудіоматеріалі. З використанням цифрових технологій динамічний діапазон значно розширився і дає змогу краще відчути ефект присутності, адже звучання, наприклад симфонічного оркестру, в реальних умовах може сягнути навіть діапазону в 90 – 110 дБ.

Для оцінки якості звучання застосовувалась шестизначна шкала.

Градація	**Враження**	**Якість**
1	Дуже дратуючий дефект	Дуже погана (сильний технічний дефект, що не підходить для обміну)
2	Відчутно дратуючий дефект	Погана (може бути використана тільки у виключних випадках або з метою інформації)
3	Кілька дратуючих дефектів	Середня
4	Певні трохи дратуючі дефекти	Добра
5	Певні помітні, але не дратуючі дефекти.	Дуже добра
6	Немає відчутних дефектів	Відмінна

Табл. 2.2.5. Градація дефектів та оцінки якості

Для підвищення якості суб'єктивної оцінки EBU розроблені тестові компакт-диски (The EBU demonstration CD «PEQS», «SQAM»), що можуть використовуватись у період тренінгів, які проводяться для експертів. CD містять позитивні та негативні приклади звучання. Тренінги

використовуються для зведення до мінімуму помилок та перекриття параметрів при суб'єктивній оцінці якості [94; 98].

Після прослуховування матеріалу слухачі заповнюють спеціальні форми. Дані з цих форм переносяться у спеціальний документ, який узагальнює результати, подані експертами.

На даний час не можна повноцінно обговорювати суб'єктивні методи оцінювання якості звучання музичного матеріалу в записі без ознайомлення з об'єктивними методами вимірювання, які перебувають у стадії розробки. На зразок із кореляціями між суб'єктивними критеріями та об'єктивними параметрами оцінки живого виконання, можна запропонувати й деякі кореляти між тими ж критеріями та параметрами оцінки для звучання в записі [11].

Для суб'єктивної оцінки звучання записів оркестрів у концертних залах пропонуємо:

- метод незалежного прослуховування і прийняття рішення групою експертів із заповненням анкет;
- метод стереофонічного порівняння.

Для оцінки записів була сформована група експертів з кола музикантів, композиторів, звукорежисерів, студентів музичної академії в кількості 24-х учасників [126]. Група прослухала близько п'ятдесяти кращих професійних записів класичної музики у виконанні симфонічних, камерних оркестрів та ансамблів, зроблених різними системами звукозапису у досліджуваних концертних залах. Також група прослухала записи, здійснених безпосередньо на глядацьких місцях у концертних залах за допомогою «штучної голови», а також систем подібних до неї, для оцінки звучання оркестрів з різних глядацьких місць[1]. Для оцінки звучання

[1] Ця оцінка враховувалась при систематизації результатів живого звучання оркестрів.

архівних записів були відібрані записи з архіву телебачення та радіо[1]. Після кожного прослуховування були заповнені анкети.

Для правильної оцінки музичного матеріалу для групи експертів, що приймала участь у прослуховуванні, було проведено ряд тренінгів із використанням тестових компакт-дисків, розроблених EBU (The EBU demonstration CD «PEQS», «SQAM»). На CD розміщені позитивні та негативні приклади звучання [94; 98].

Тренінги та прослуховування музичних матеріалів проводились у приміщенні, що було заздалегідь підготовлене та відповідало: вимогам до звукового поля контрольної кімнати, геометричним умовам прослуховування, параметрам контрольних моніторів [94; 97; 132; 133].

Як було зазначено вище, використана однакова термінологія суб'єктивної оцінки музичного матеріалу для живого виконання та в записах за винятком деяких, що не характерні для цього способу аналізу звучання. Тому анкети для оцінки записів максимально подібні між собою (див. додаток до розділу 2, табл. 2.1, 2.2).

Суб'єктивна оцінка проводилась за такими критеріями: просторовість, просторова перспектива (життєвість); стереофонічний ефект; тембр; чистота, прозорість, розбірливість; гучність, динамічний діапазон; близькість, присутність, звукові плани; текстура; звуковий баланс; техніка мікрофонного прийому; шумові перешкоди; загальне враження. Згідно із прийнятими початковими умовами, критерії *ансамбль*; *інструментування (аранжування)* не були внесені в анкету.

Шкала оцінки звучання така сама, як і у випадку попередньому і відображена в табл. 2.2.2.

---

[1] Ця оцінка використовувалась для порівняння із сучасними записами.

Приклади описової термінології також максимально подібні з попереднім випадком, за винятком деяких пунктів (п. 2, 6, 9), і показані в табл. 2.2.6.

№	Суб'єктивні критерії	Приклади термінології опису
1	Просторовість	Звучання: об'ємне / вузьке. Перспектива: довга / коротка
2	Стереофонічний ефект	Широкий / вузький
3	Тембр	Багатий / бідний; Теплий / холодний; Світлий, блискучий, яскравий / тьмяний
4	Чистота, прозорість, розбірливість	Звучання: Чисте, ясне / невиразне; Розбірливе / нерозбірливе
5	Гучність, динамічний діапазон	Голосно / тихо. Широкий / вузький
6	Звукові плани. Близькість, присутність	Присутні / не визначені. Близький / далекий
7	Текстура	Гладка / строката
8	Звуковий баланс	Збалансовано / не збалансовано
9	Техніка мікрофонного прийому	Відповідна / невідповідна. Мікрофони встановлені: вдало / невдало
10	Шумові перешкоди	Невідчутні / відчутні

Таблиця 2.2.6. Термінології опису

У кожній анкеті учасник вказував студію звукозапису та концертний зал, де був проведений запис, оркестр або ансамбль, назву творів, що прозвучали, жанрову приналежність (опера, балет, симфонія, і. т. д.), місце і дату прослуховування [11].

Перелік записів львівських студій, прослуханих та оцінених експертними групами, із вказаним способом звукозапису подано у додатку до розділу 3.

2.3. Особливості звукозапису в концертних залах

Ера звукозапису розпочалась у 1877 році, коли Американський вчений Т. Едісон продемонстрував свій апарат «фонограф», що міг записувати та відтворювати звук. Одночасно з ним французький вчений Шарль Кро

надіслав заявку до Французької Академії на винахід, який назвав також «фонографом».

За минулий період найбільш поширене застосування отримали: механічний, магнітний і оптичний звукозапис. Під процесом звукозапису розуміють перетворення коливань середовища у зміну фізичних властивостей носія з метою збереження інформації та подальшим її використанням [30, с. 110].

Інформація, що зберігається на носіях, може бути аналоговою та цифровою. Сьогодні широко застосовується цифровий запис.

Для перетворення акустичних коливань в електричні сигнали застосовують мікрофони. Коливання повітряного середовища сприймає капсуль в якому знаходиться мембрана. Коливання мембрани змінюють характеристики електричного та магнітного полів, утворених всередині капсуля, внаслідок чого в електричній схемі протікає струм, коливання якого змінюються за законом коливання звукової хвилі [29, с. 45; 93, с. 7].

Існує декілька видів мікрофонів, але для звукозапису здебільшого використовуються два: динамічні та конденсаторні. Для запису та переозвучення використовуються також п’єзоелектричні мікрофони.

Для якісного перетворення акустичних коливань до мікрофонів пред’являються досить жорсткі вимоги: 1) динамічний діапазон повинен сягати близько 120 дБ; 2) номінальний діапазон частот (frequency range) повинен сягати 20 – 20000 Гц; 3) висока чутливість (sensitivity), що означає здатність мікрофона перетворювати механічний акустичний тиск в електричну напругу; 4) на якісні показники також впливає амплітудно-частотна характеристика, яка визначається своєю нерівномірністю. Для хороших мікрофонів вона (нерівномірність АЧХ) є мінімальною.

Важливою характеристикою для мікрофона є діаграма напрямленості або полярна діаграма (*polar pattern*). Це залежність чутливості мікрофона на заданій частоті в вільному полі від кута падіння звукової хвилі.

До характеристик мікрофона також належать: коефіцієнт напрямленості, індекс напрямленості, коефіцієнт осьової концентрації, індекс осьової концентрації, перепад чутливості «фронт-тил», рівень максимального звукового тиску (max SPL), повний коефіцієнт гармонічних спотворень (THD), рівень власних шумів. Повний електричний опір мікрофона складає: для конденсаторних – 50-200 Ом, для динамічних – 600 Ом. Робочий діапазон температур та вологості складає: для конденсаторних від –10ºС до +35ºС і 85% вологості при температурі 20ºС, для динамічних -40ºС – +50ºС і 95% вологості при температурі 20ºС [93, с.7].

Існують мікрофони приймачі тиску (*pressure microphone*) та приймачі градієнта тиску (*pressure gradient microphone*). У приймачах тиску змінне звукове поле діє на мембрану тільки з одної сторони. На частотах, довжина хвилі яких більша за розміри мікрофона, звукові хвилі зі всіх напрямків приходять в однаковій фазі на мембрану мікрофона. Чутливість такого мікрофона однакова до всіх напрямків приходу звукової хвилі. Ці мікрофони мають кругову діаграму напрямленості (omnidirectional). Така діаграма напрямленості приймачів тиску явно виражена тільки в області низьких частот. Із зростанням частоти звукової хвилі їхня напрямленість стає гострішою. У приймачах градієнта тиску змінне звукове поле діє на мембрану з обох сторін. При цьому мембрана знаходиться під дією різниці (градієнта) сил $\Delta F = F_1 - F_2$, де $F_1 = p_{зв} \cdot S \sin \omega t$ – сила, яка діє на передню сторону мембрани; $F_2 = p_{зв} \cdot S \sin (\omega t - \Delta\varphi)$ – сила, що діє на задню сторону мембрани і відстає за фазою на величину $\Delta\varphi$, оскільки звукова хвиля проходить довший шлях до задньої сторони мембрани. Різниця фаз дорівнює $\Delta\varphi = 2\pi (d \cos \alpha)/\lambda$, при цьому градієнт сил, що діє на діафрагму дорівнює: $\Delta F = p_{зв} \cdot S (d/C) \omega \cos \alpha$, де d – товщина діафрагми, α – кут падіння звукової хвилі, C – швидкість звуку. Звідси випливає, що при куті падіння звукової хвилі 0° або 180°, градієнт діючих сил є максимальним ($\cos \alpha = 1$), а коли кут падіння звукової хвилі дорівнює 90°, градієнт діючих сил є

мінімальним (cos α = 0). Такі мікрофони мають діаграму напрямленості у вигляді вісімки (bi-directional, figure eight). Вони чутливі до звукових хвиль, що падають вздовж осі, і практично нечутливі до поперечних хвиль. Якщо скомбінувати дві діаграми напрямленості – круг та вісімку, то в осьовому фронтальному напрямку чутливість зросте (оскільки сигнали, що приходять в однаковій фазі підсилюють один одного, тобто додаються), а в тиловому напрямку чутливість зменшиться (оскільки сигнали перебуватимуть у протифазі і гаситимуть один одного, тобто відніматимуться). Така діаграма напрямленості називається кардіоїдою (cardioid). Підбираючи різницю чутливості S_1 і S_2 можна отримувати різні напрямлені характеристики мікрофонів, наприклад суперкардіоїду (*supercardioid*) та гіперкардіоїду (*hypercardioid*) [93, с. 22-50].

Особливу групу складають гостро напрямлені мікрофони (shotgun). Ними є мікрофони-градієнти тиску, що мають специфічний корпус у вигляді акустичного лабіринту. Лабіринт – це своєрідна лінія затримки для поперечних звукових хвиль та хвиль, які надходять під кутом. При такому напрямі хвиль між хвилями, що досягають мембрани, виникає зсув фаз, який збільшує градієнт сил діючих на діафрагму мікрофона. Це загострює характеристику напрямленості. На Рис. 2.3.1 показані основні види діаграм напрямленості:

Рис. 2.3.1. Основні види діаграм напрямленості (John Eargle The MICROPHONE Book)

При наближені напрямленого мікрофона до джерела звуку виникає зростання його АЧХ на низьких частотах. Такий ефект виникає за рахунок зростання тиску на мембрану при зменшенні відстані до мікрофона через додаткового градієнта тиску, що виникає унаслідок різниці відстаней до передньої і тильної площин мембрани. Цей ефект називається «ефектом ближньої зони» (*proximity effect*).

Цікаву конструкцію мають мікрофони граничного рівня (PZM). Для них характерна напівсферична діаграма напрямленості. Розміщуються такі мікрофони переважно на підлозі, неподалік від джерела звуку [18, с. 18; 30, с. 35].

Оскільки людина здатна локалізувати джерела звуку в просторі, то записаний звуковий матеріал можна відтворити системами, які дозволять слухачеві створити просторове враження про джерело звуку. Існують стереосистеми (*stereo*) та просторові системи (*surround sound*) для відтворення просторової звукової інформації.

При стереофонічному звучанні слухач сприймає звукову картину як сукупність фантомних (уявних) джерел. Стереокартина може викликати

відчуття вузького, середнього і широко розташування фантомних джерел звуку. На Рис. 2.3.2 зображені такі випадки:

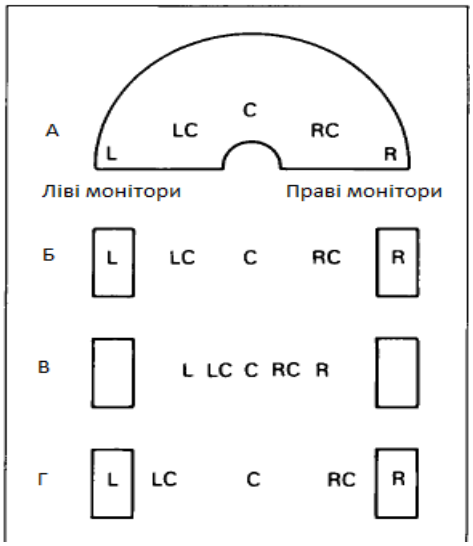


Рис. 2.3.2. Стереолокалізуючий ефект: А – локалізація інструментів оркестру; Б – точна локалізація (відчуття слухача); В – ефект відчуття вузької сцени; Г – ефект перебільшеного розділення (Bartlett B. On-Location Recording Techniques)

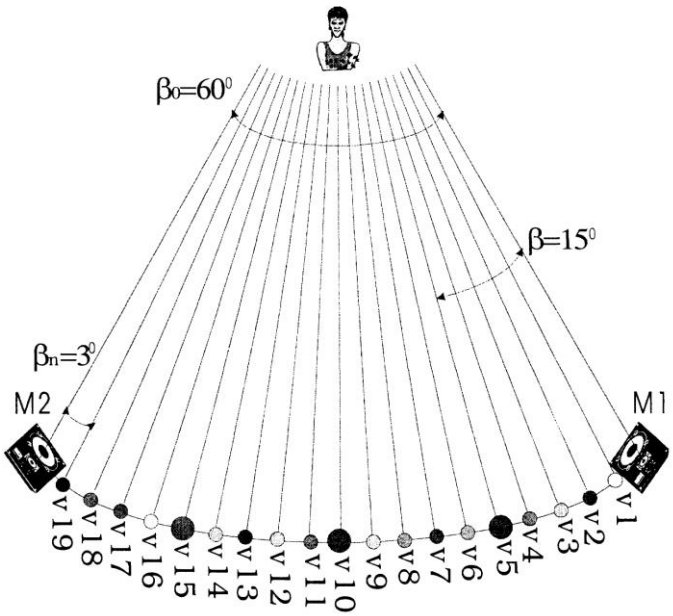


Рис. 2.3.3. Мінімальні азимутальні кути, при яких локалізуються фантомні джерела (Динов В. Микрофонный прием)

Згідно з коефіцієнтами ITD та IID людина може локалізувати фантомні джерела при азимутальному куті β=15°, а переміщення відчути при β=3°, що вказано на Рис. 2.3.3 [17, с. 158].

Для запису і передачі стереофонічних та просторових звукових сигналів на даний час створені спеціальні мікрофонні системи [49, с. 101; 93, с. 184]. Більшість мікрофонних стереосистем можна класифікувати за групами:

- роздільні пари (*Spaced Pair*), до яких належать AB, Decca Tree, Double MS;
- близько сумісні пари (*Near-Coincident Pair*), до яких належать стереосистеми *DIN stereo, NOS stereo, ORTF stereo, RAI stereo, Baffled stereo*;
- сумісні пари (*Coincident Pair*), до яких належать стереосистеми *XY stereo, MS stereo, Blumlein stereo*;
- верхні стереосистеми (*Overhead microphones*);
- бінауральні стереосистеми (*Binaural stereo*);
- системи для об’ємного звуку (Surround Sound) *Soundfield, SPL array* та ін.;

AB система зображена на Рис. 2.3.4:

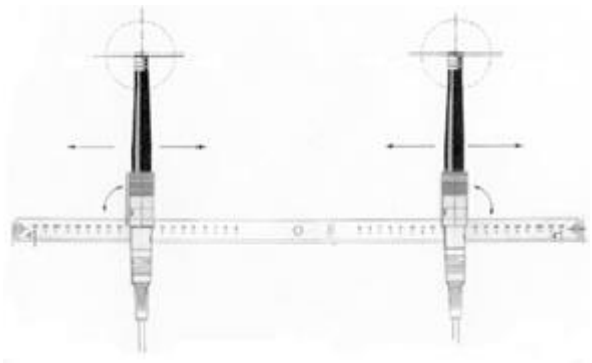


Рис. 2.3.4. Система стереозапису AB (Tom Bates Stereo Mic. Techniques)

При такому способі запису система встановлюється фронтально перед виконавцями. Мікрофони мають бути однотипними з мінімальними розбіжностями параметрів. Акустичні осі повинні бути паралельними при напрямлених мікрофонах типу кардіоїда або вісімка. Максимальна відстань між мікрофонами становить приблизно 60 см. Недоліком системи є відчуття переміщення фантомного джерела в достатньо вузькій зоні, при відчутному переміщенні реального джерела. Щоб розширити цю зону, потрібно наблизити систему до джерела звуку, а відстань між мікрофонами зменшити, що своєю чергою призведе до зменшення стереобази і спотворить відчуття глибини. Також може з'явитись «ефект ближньої зони». Мінімальну відстань обмежують до 17–20 см, що відповідає відстані між вухами людини. Систему в основному використовують для передачі відчуття простору. Для точної локалізації джерел вона менш придатна. Зазвичай система АВ використовується в поєднанні з іншими мікрофонами.

Система *Decca Tree* використовує три ненапрямлені мікрофони, в основному, розміщені на вершинах рівностороннього трикутника, хоча можливі варіації відстані середнього мікрофона. Мікрофони розміщуються на стійках на висоті 3–3,7 м позаду голови диригента та нахилені вниз під кутом 30° у напрямку оркестру. Бічні мікрофони розвернуті назовні під кутом 45° (від вертикальної осі) і рознесені на відстань приблизно 2 м один від одного. Можуть використовуватись два додаткових мікрофони, що розміщуються по краях оркестру вглибину залу (назад), для запису реверберації залу. Ця система дає реалістичний стереообраз та забезпечує баланс між інструментами оркестру.

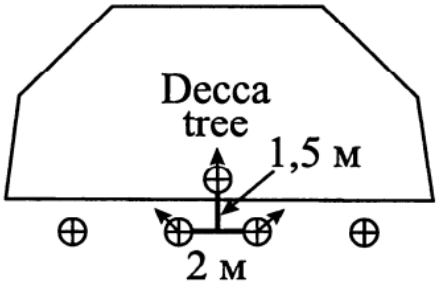


Рис. 2.3.5. Система стереозапису Decca Tree (John Eargle The MICROPHONE Book)

Double MS використовує 4 ідентичні DPA 4021 кардіоїдні мікрофони з кутом 90° кожний.

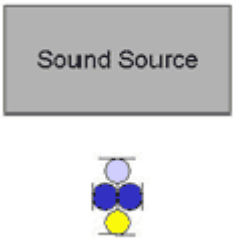


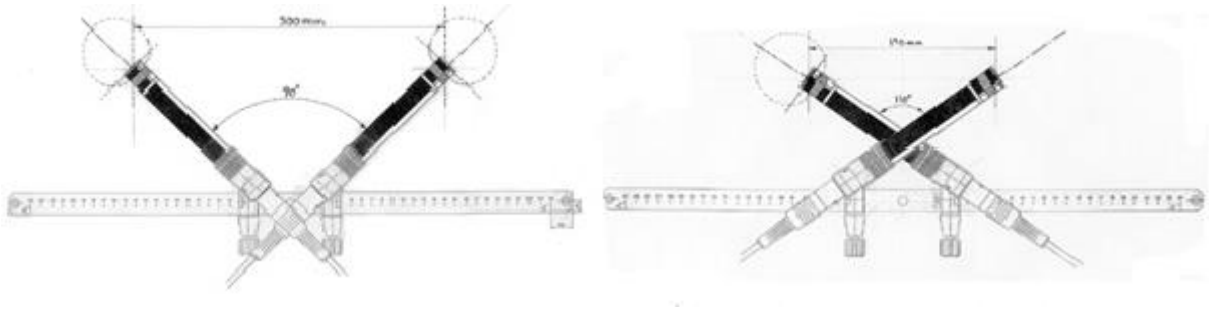
Рис. 2.3.6. Система стереозапису Double MS (Tom Bates Stereo Mic. Techniques)

DIN stereo створюється двома кардіоїдними мікрофонами, розміщеними під кутом 90° на відстані 20 см один від одного. Забезпечує кут захоплення 115°. Ця система корисна на близьких відстанях.

NOS stereo (данське радіомовлення) створюється двома кардіоїдними мікрофонами, розміщеними під кутом 90° на відстані 30 см один від одного. Забезпечує кут захоплення 80°. Система корисна на близьких відстанях для невеликих ансамблів.

ORTF stereo (французьке радіомовлення) створюється двома кардіоїдними мікрофонами, розміщеними під кутом 110° на відстані 17 см один від одного. Забезпечує кут захоплення 95°. Розміщення мікрофонів відповідає відстані між вушними раковинами людини, а кут моделює ефект тіні від голови.

RAI stereo (італійське радіомовлення) створюється двома кардіоїдними мікрофонами, розміщеними під кутом 100° на відстані 21 см один від одного. Забезпечує кут захоплення 95°.



а б

Рис. 2.3.7. Системи стереозапису: а – NOS stereo, б – ORTF stereo (Tom Bates Stereo Mic. Techniques)

Baffled stereo система, подібна до AB Stereo, ORTF stereo, DIN stereo, NOS stereo, RAI stereo, яка використовує акустичний звукопоглинаючий екран, розміщений між двома мікрофонами. Поглинаючий ефект екрану покращує роздільність між каналами та впливає на згасання бічних призвуків.

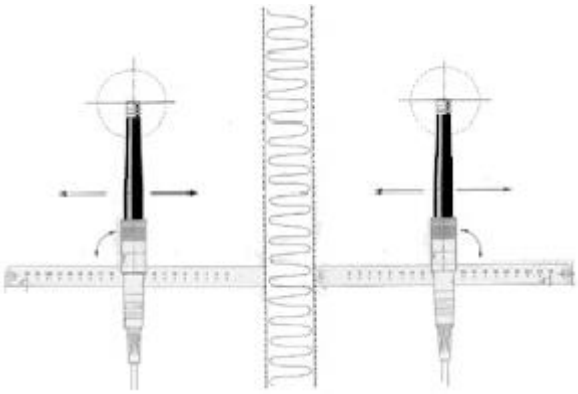


Рис. 2.3.8. Система стереозапису Baffled stereo (Tom Bates Stereo Mic. Techniques)

XY stereo – система стереозапису, що використовує два напрямлених мікрофони (кардіоїдні або суперкардіоїдні), встановлених на одній вертикальній осі під кутом 90°–110° один до одного. Оскільки мікрофони знаходяться в одному місці, то різниця в часі приходу сигналів практично відсутня. Стереофонічний ефект виникає за рахунок різниці інтенсивності сигналів від джерел. Система дає правильну відповідність реального і уявного джерел, є добре моносумісна. Недоліком цієї системи є слаба локалізація джерела вглибину.

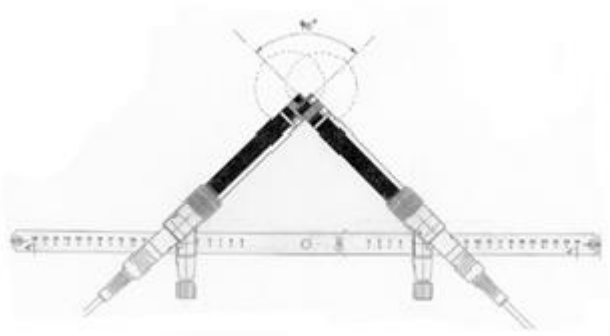


Рис. 2.3.9. Система стереозапису XY (Tom Bates Stereo Mic. Techniques)

MS stereo – система стереозапису, яка використовує два мікрофони з різними діаграмами напрямленості (кругова і вісімка), що знаходяться на одній вертикальній осі. Назва походить з німецької мови та розшифровується як Mittel (середина) і Seite (сторона). Напруга U (мВ) на виході мікрофона M буде незмінною при будь-якому положенні джерела, а напруга з мікрофона S визначається формою його діаграми напрямленості. Якщо кут розміщення джерела звуку становить 90° до центральної горизонтальної (повздовжньої) осі, то вихідна напруга буде рівною сумі напруг з мікрофонів M і S, якщо 0°, то вона буде рівною тільки напрузі з мікрофона M, а якщо –90°, то вихідна напруга буде рівною різниці напруг з мікрофонів M і S. За допомогою сумарних і різницевих перетворень

формуються сигнали у двох каналах звукопередачі. Система MS stereo має низку переваг над системою XY. Вона дає можливість легко регулювати як загальну ширину стереобази, так і окремі її частини, де знаходяться виконавці.

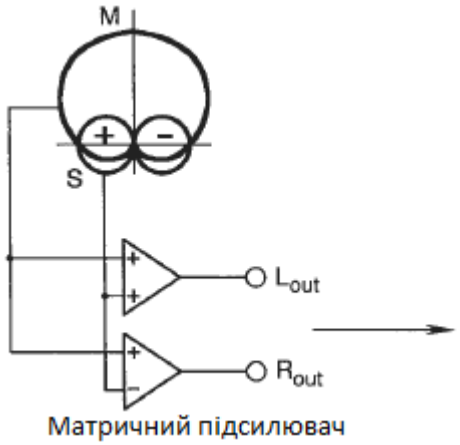


Рис. 2.3.10. Система стереозапису MS (John Eargle The MICROPHONE Book)

Blumlein stereo є системою стереозапису, що використовує два мікрофони з діаграмою напрямленості типу «вісімка», встановлених в одному і тому самому місці під кутом 90° один до одного.

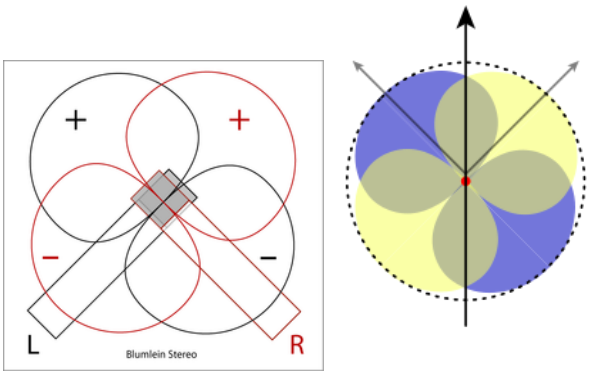


Рис. 2.3.11. Система стереозапису Blumlein stereo (John Eargle The MICROPHONE Book)

Overhead microphones – система стерео запису, у якій мікрофони розміщуються зверху над оркестром. Вона дає можливість отримати при записі натуральніший тембр, оскільки звуки від інструментів досягають мікрофонів з більш реальним фазовим розподілом. Також вони можуть записати декілька перших відбиттів залу.

Binaural stereo – система стереозапису, що використовує модель штучної голови (*dummy head*), всередині слухових каналів якої розміщені мікрофони. В цій моделі максимально точно копіюються форма голови і вушні раковини, а також спеціально підбираються фізико-механічні параметри матеріалів, щоб змоделювати кісткову провідність. У цій системі звукова хвиля діє на мембрану мікрофонів після обробки у вушній раковині та слуховому каналі. В результаті слухач отримує достатньо точне просторове відчуття первинного приміщення. У нашому випадку, якщо манекена посадити в концертному залі, то слухач отримає таке враження від прослуховування записаної музики, яке б він отримав сидячи на тому ж ряді і місці, де знаходився манекен.

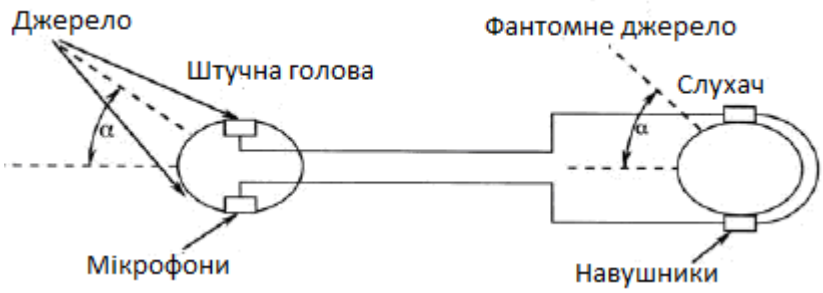


Рис. 2.3.12. Система стереозапису Binaural stereo (John Eargle The MICROPHONE Book)

Surround Sound – це багатоканальні системи запису, які можуть мати від 3 до 10 каналів. Ці мікрофонні системи повинні налічувати відповідну кількість мікрофонів. Наприклад, система *SPL array* представляє собою

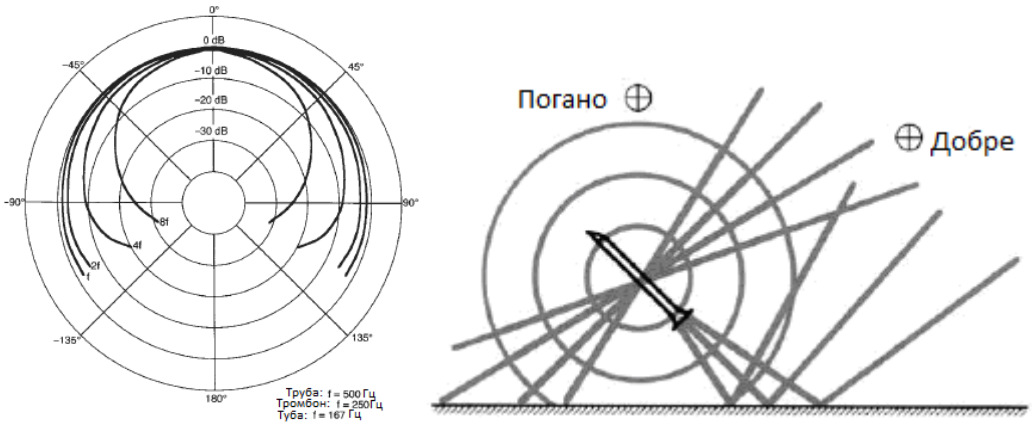
єдиний блок з п’ятьма рознесеними напрямленими мікрофонами, відстань між якими та орієнтацію яких можна гнучко міняти в процесі запису.

Однією з найважливіших вимог при записі оркестрів є правильний вибір місць для встановлення мікрофонів. Ці місця далеко не завжди співпадають з найкращими місцями для слухачів, а встановлюються за оцінкою звукорежисера, в тих місцях, де баланс оркестру найкращий. При невдалому розміщенні мікрофонів у місцях, де звук здається добрим для слухача, в процесі прослуховування записаного матеріалу може виявитись, що в записі занадто багато реверберації, частотний спектр звучання не відповідає природному (наприклад, занадто «сухий»), звуковий образ є недостатньо об’ємним та прозорим, а під час звучання на *piano* і тихіше чути шуми від самих інструментів (удари клапанів у духових, зміна позиції на струнних тощо) та від залу.

При прослуховуванні музики слухач одразу відчуває звукову перспективу за рахунок різниці в приході прямої звукової хвилі, перших відбиттів, які дають можливість відчувати ширину звукової картини, та подальшого ефекту реверберації самого концертного залу, що допомагає отримати просторову звукову картину. Взагалі, якщо у слухача в процесі прослуховуванні музики наживо виникають відчуття дискомфорту, то він може змінити ситуацію шляхом незначного переміщення або повертання голови (аж до повного зникнення негативних відчуттів) або шляхом збалансування, навіть тоді, коли відбиті сигнали домінують над прямим звуком. Мікрофони під час запису зазвичай нерухомі, тому записують звукову картину статично в місці свого встановлення [46; 51].

Як згадувалось вище, музичні інструменти мають кожен свою діаграму напрямленості, в основному радіально вперед і вверх, хоча музиканти відчувають також відбиті хвилі з навколишнього середовища. В області низьких частот усі музичні інструменти мають ненапрямлену характеристику. В міру підвищення частоти, випромінювання стає більш

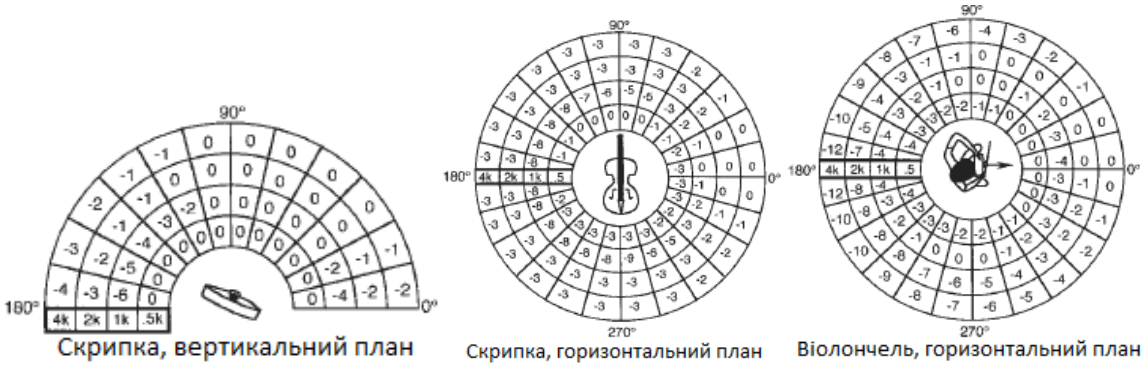
вираженим, наприклад, для мідних духових – вздовж осі розтруба, для дерев'яних духових – більш комплексно.



а б

Рис. 2.3.13. Характеристики напрямленості для групи мідних (а) та дерев'яних духових інструментів (б) (John Eargle The MICROPHONE Book)

Для групи струнних інструментів діаграма напрямленості має комплексний характер. На низьких частотах вона виглядає ненапрямленою (круговою), в області середніх частот вона напрямлена у вертикальній площині від середини деки інструментів; в області високих частот діаграма напрямленості знову розширяється за рахунок малих розмірів містка.



а б в

Рис. 2.3.14. Характеристики напрямленості для групи струнних інструментів: скрипки у вертикальній площині (а), скрипки в горизонтальній площині (б), віолончелі в горизонтальній площині (в) (John Eargle The MICROPHONE Book)

Для клавішних та ударних інструментів характеристики напрямленості комплексні і залежать від їх форм та розмірів, а також – від їх взаємодії з оточуючим середовищем. Динамічний діапазон, як згадувалось вище, не може перевищувати 35–40 дБ в цій області частот, однак на всьому частотному спектрі він може бути значно ширшим.

Для солюючих інструментів важливим є місце встановлення мікрофонів для їх запису. Треба пам’ятати, що інструменти звучать в замкнутому просторі, який накладає на їх звучання додаткові частоти.

Під час запису солюючого фортепіано в залах з помірною реверберацією, звучання може бути дещо агресивнішим, тому потрібно скорегувати частотну характеристику в області верхніх трьох октав.

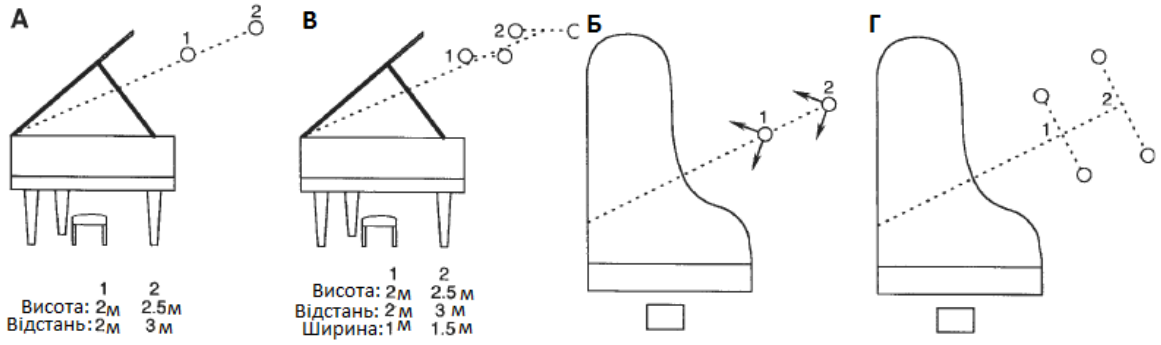


Рис. 2.3.15. Запис рояля з використанням близько-сумісних (А,Б) і сумісних (В,Г) стереопар (John Eargle The MICROPHONE Book)

При записі фортепіано з оркестром бажано використовувати напрямлені мікрофони, а у випадку сольного виконання можна використати всенапрямлені (мікрофони з круговою діаграмою напрямленості).

Для камерних ансамблів, які виконують музику без диригента, можна скористатись одною сумісною чи близько-сумісною стереопарою, або одинарними мікрофонами, залежно від вимог концерту або, якщо запис проводиться на сцені без аудиторії слухачів. Під час концерту віддають перевагу близькому розміщенню виконавців між собою на сцені, а не їх

розтягненню до країв сцени. Для запису найкращим є центральне розміщення мікрофонів при використанні сумісних стереопар, з можливим використанням флангових всенапрямлених мікрофонів. Таке розміщення зробить звучання ансамблю більш наближеним до сценічного, а слухачі відчують звучання у так званій Row G[1] перспективі.

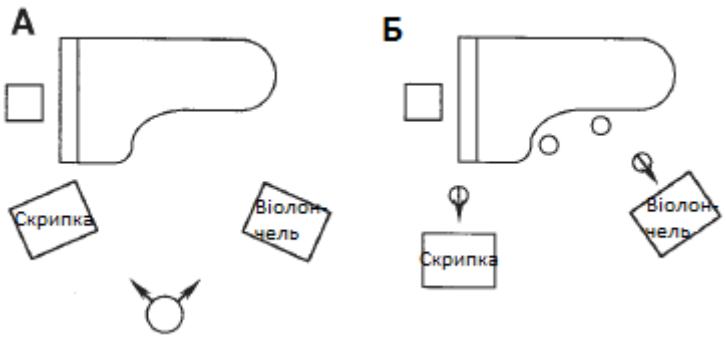


Рис. 2.3.16. Запис тріо виконавців (А) концертний; (Б) концертно-студійний (John Eargle The MICROPHONE Book)

Для більш тісного розміщення, виконавців можна розташувати аркою або по колу. Мікрофони в такому випадку можна розмістити достатньо близько. На Рис. 2.3.16 у варіанті «В» музиканти мають візуальний контакт між собою.

При прослуховуванні матеріалу, записаного при варіанті «А», у слухача виникає відчуття власної присутності («я тут є»), у випадку «В» – присутності виконавців («виконавці тут»). Для звукорежисерів та продюсерів другий спосіб є гнучкішим і дає можливість встановити альтернативний баланс між інструментами.

---

[1] Відчуття знаходження слухача на рівні сцени поблизу виконавців.

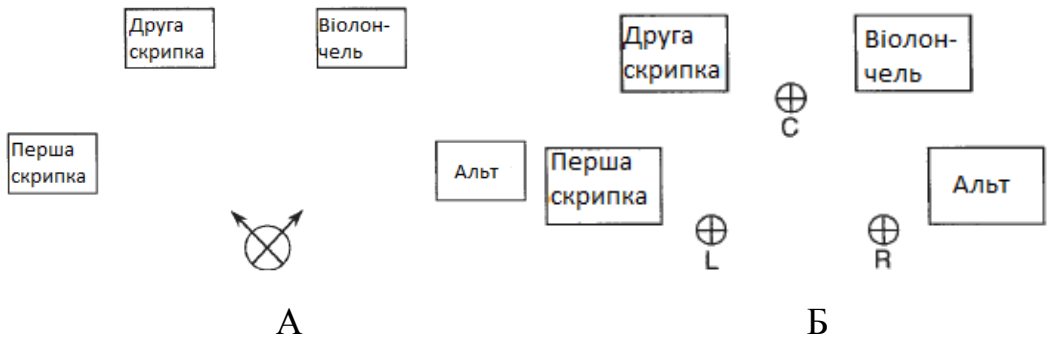


Рис. 2.3.17. Запис струнного квартету при концертному виконанні: (А) з використанням сумісних або близько-сумісних стереопар; (Б) з використанням всенапрямлених мікрофонів та з акцент-мікрофоном для віолончелей і другої скрипки (Decca Tree) (John Eargle The MICROPHONE Book)

Камерні оркестри та малі склади симфонічного оркестру налічують більше виконавців. Їх кількість становить від 25 до 40 музикантів, що залежить від репертуару. Оркестр найкраще записується чотирма мікрофонами, розміщеними по всьому фронту та додатковими акцентними мікрофонами (spot mikes), які використовуються для додачі присутності інструмента або оркестрової секції без потреби підвищення загальної гучності. На малих сценах із невеликими рівнями реверберації вони загалом непотрібні. Та все-таки в багатьох випадках використовуються вторинні сумісні стереопари, для запису секції дерев’яних духових інструментів, та одиничні акцент-мікрофони для контрабасів, арфи та челести. Литаври є зазвичай гучними, але використання акцент-мікрофонів додасть артикуляції у звучанні.

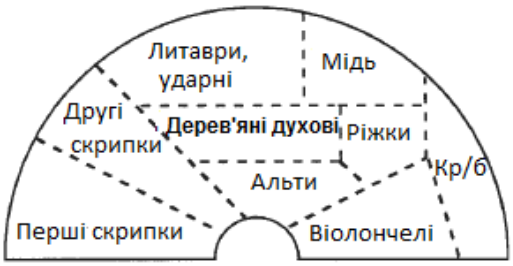


Рис. 2.3.18. Розміщення симфонічного оркестру для запису (John Eargle The MICROPHONE Book)

Акцент-мікрофони є кардіоїдними і встановлюються разом з головними мікрофонами за необхідністю. Для того щоб сигнали від акцент-мікрофонів та головної пари були повністю когерентними (тобто мали незмінну в часі різницю фаз), використовують затримку (delay) для повної компенсації затримки в часі.

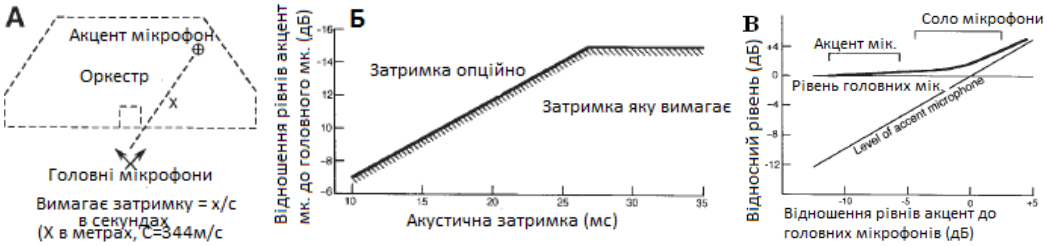


Рис. 2.3.19. Ілюстрація знаходження затримки для акцент-мікрофона (А); визначення необхідності затримки (Б); рівневий діапазон для акцент-мікрофонів (В) (John Eargle The MICROPHONE Book)

На рис. 2.3.19 (А) відстань «X» – визначається у метрах, «C» – швидкість звуку в повітрі (340 – 344 м/с).

Акцент-мікрофони постійно зазнають корекції за панорамою та нижнім обрізним фільтром для підсилення виразності інструментів [46; 93].

Великий склад симфонічного оркестру налічує близько 90 виконавців, які пропорційно розподілені у своїх групах для забезпечення музичного балансу. Він займає багато місця, тому для концерту та звукозапису необхідно достатньо сценічної площі, з розрахунку 2 м^2 на одного виконавця. Для звукозапису можуть використовуватись і танцювальні зали та великі просторі приміщення з хорошим часом реверберації.

Один з прикладів розміщення мікрофонів зображено на Рис. 2.3.20.

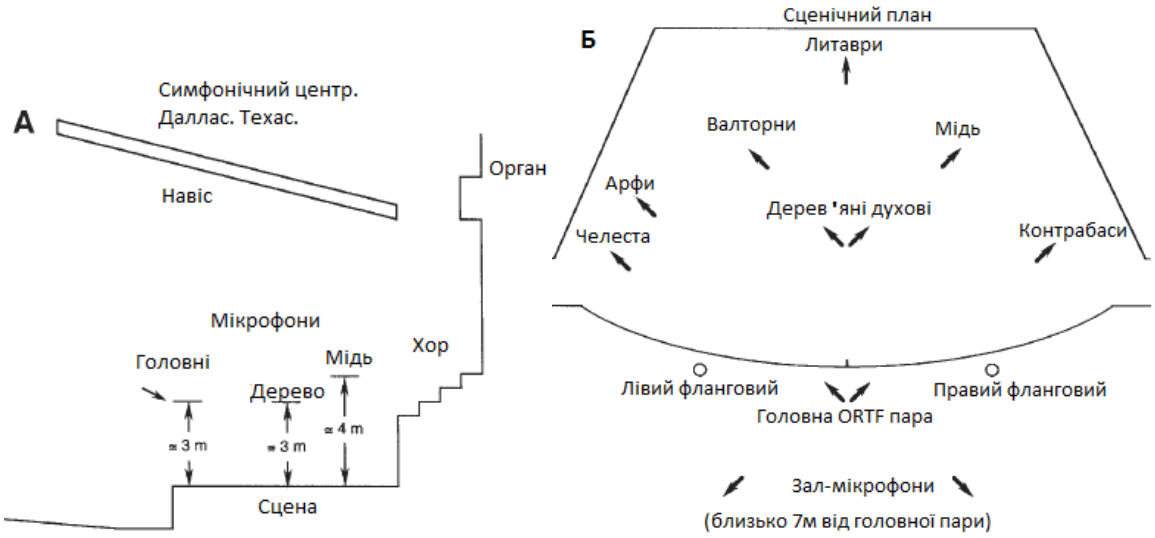


Рис. 2.3.20. Приклад розміщення мікрофонів для запису симфонічного оркестру по вертикалі (А) та по горизонталі (Б) (John Eargle The MICROPHONE Book)

Головні чотири мікрофони складаються з ORTF-напрямленої пари разом із фланговою парою з круговою діаграмою напрямленості. Головна ORTF-пара націлена вниз, в точку на відстані близько двох третин глибини сцени. Це забезпечить баланс між різницею у фронтальному і тиловому рівнях звуку. Акцент-мікрофони розміщені так:

- для двох арф один кардіоїдний мікрофон встановлений між ними;
- для челести один кардіоїдний мікрофон для виділення її звучання;
- для валторни один кардіоїдний мікрофон розміщений над секцією і націлений вниз, у напрямку дзвіночків;
- для дерев’яних духових ORTF-пара націлена на другого в задньому ряді музиканта;
- у литаврах використовуються дві секції, тому один кардіоїдний мікрофон розміщується посередині між ними на висоті 2,5 м над сценою;

- для мідних духових один кардіоїдний мікрофон розміщений над ними на висоті 4 м і націлений вниз;
- для контрабасів один кардіоїдний мікрофон розміщений зверху за 1,5 м до першого виконавця.

Для зняття акустики залу використовують два напрямлені у зал кардіоїдні мікрофони (*house-pair*), підвішені до куполу на висоті близько 7 м над аудиторією та на відстані 8 м від краю сцени, і скеровані в задні верхні кути концертного залу.

Усі акцент-мікрофони включені через нижній обрізний фільтр до 100 Гц і додатково пропущені через цифровий ефект-процесор для збагачення реверберацією, яка не повинна перекривати природну реверберацію концертного залу.

У багатьох сучасних концертних залах хор розміщують на терасах позаду оркестру, тому для запису потрібно використовувати додаткову стереопару. В багатьох старих залах оркестр висувають вперед, а хор розміщають на підвищенні, позаду оркестру. В цих випадках також потрібні додаткові стереопари. Ще однією проблемою є потрапляння небажаних звуків від духових та ударних інструментів у хорові мікрофони. Цього можна уникнути шляхом підняття вище хорових мікрофонів.

При виконанні творів для фортепіано з оркестром, оркестр посувається назад, а рояль розміщається між диригентом та залом так, що соліст-піаніст знаходиться зліва від диригента. За присутності глядачів таке позиціонування часто заважає розміщенню основної мікрофонної пари, яка в ідеалі повинна розміщуватися по фронту перед роялем, але в деяких випадках може бути і позаду інструмента. У підвішеної пари мікрофонів таких проблем взагалі не виникає. Основна пара мікрофонів може бути розміщена в ідеальному місці. Солісти-вокалісти та струнники зазвичай розташовані ліворуч від диригента і не заважають розміщенню основної мікрофонної пари. Для солістів використовують близько-сумісні або сумісні

стереопари, на відміну від одинарних мікрофонів. Метою є збереження природної стерео перспективи, коли звукорежисер повинен піднімати рівень мікрофона соліста протягом дуже м’яких пасажів.

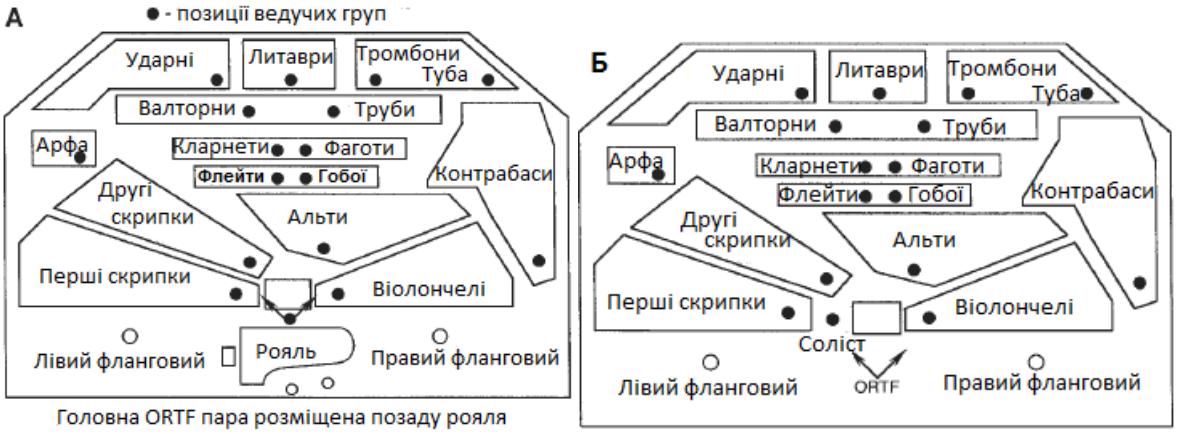


Рис. 2.3.20 Запис солістів з оркестром. Рояль (А); вокаліст або струнник (Б) (John Eargle The MICROPHONE Book)

Щодо динамічного діапазону, то слід вибирати мікрофони з максимальним динамічним діапазоном. Сучасні конденсаторні мікрофони мають динамічний діапазон 125 дБ. Однак, як показує практика, динамічний діапазон під час запису досягає 90 – 95 дБ. За рівнем власних шумів для запису класичної музики мікрофони вибираються в межах 7 – 13 дБ (А), що є строгою умова вибору [46; 50; 51; 202].

Розвиток техніки для комп’ютерної обробки звуку та встановлення зв’язків між об’єктивними параметрами звукового поля та суб’єктивними оцінками якості звуку в замкнутих приміщеннях, зокрема в концертних залах, призвело до створення багатьох принципово нових напрямків в моделюванні акустики замкнутих приміщень, визначенні її параметрів та створенні моделі звукового образу. Цей напрямок отримав назву *ауралізація* (auralization) [4; 2, с. 528]. Означення терміну «ауралізація» дав М. Кляйнер (M. Kleiner) (за аналогією з терміном «візуалізація») на конгресі AES в 1989 році. За Кляйнером, «ауралізація – це процес перетворення (шляхом фізичного або математичного моделювання) в «чутний звук» звукового поля

джерела в даній точці приміщення з урахуванням бінауральних властивостей слухової системи» [2, с 527].

Ця методика використовується як для моделювання звукової картини в існуючих замкнутих приміщеннях, так і для приміщень, які ще проектуються. Її завданням є створити у слухача суб'єктивне відчуття тривимірного звукового образу, ідентичного реальному, шляхом комп'ютерної обробки музичного матеріалу.

Як зазначалось вище, тільки два об'єктивні фізичні параметри звукового сигналу сприймаються слуховою системою людини. Це інтенсивність «IID» (енергія і звуковий тиск) та час – початок і кінець сигналу та його періодичність в часі «ITD» (частота). Все інше, що відчуває людина (суб'єктивна оцінка) у звуковому сигналі – гучність, висота, тембр, просторовість, музичні нюанси та ін., – є результатом обробки її слуховою системою та мозком цих двох фізичних параметрів.

Коли слухач сприймає звук у залі, то звук від джерела (оркестр, ансамбль) обробляється приміщенням (концертним залом) за рахунок інтерференції, дифракції, згасання звукових хвиль. Концертний зал можна розглядати як своєрідний акустичний фільтр зі своїми імпульсними характеристиками. Тоді в кожній точці залу сумарний сигнал утворюється як «згортка» (convolution) сигналу від джерела та характеристик приміщення. Голова та слухові канали теж обробляють звуковий сигнал. На основі отриманих даних (від периферійної слухової системи) мозок визначає параметри приміщення, тип і характер звуку (музика, мова, шуми), місце розташування джерела та ін., що і створює відчуття тривимірного звукового простору.

Таким чином, щоб викликати у слухача відчуття присутності в певному концертному залі, потрібно записати звуковий матеріал в ізольованій кімнаті, змінити його імпульсну характеристику (спектр), так як це робить вибраний зал, а потім профільтрувати його аналогічно до того, як

це роблять вушні раковини та голова. Результат обробки сигналу можна прослухати в навушниках і отримати реалістичне відчуття перебування в тривимірному акустичному середовищі, де звучить оркестр [2, с. 529].

Для розрахунку імпульсних характеристик приміщення використовують потужне програмне забезпечення, яке використовує методи, наближені до геометричної акустики (променевий метод, метод уявних джерел), та точні методи хвильової акустики.

Отже, для визначення імпульсних характеристик приміщення можна провести заміри за допомогою мікрофона в різних точках концертного залу, а можна розрахувати їх для будь-якої точки, попередньо задавши геометричні розміри залу, поглинаючі властивості його стін, стелі та ін., тобто, побудувавши їх комп'ютерну модель. Для цієї мети використовують спеціальне програмне забезпечення, наприклад: CATT-Acoustic, ODEON, EASE, EASERA тощо [2, с. 532; 39].

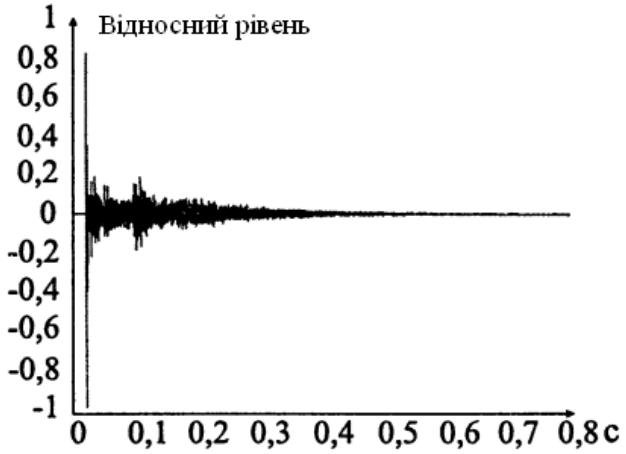


Рис. 2.3.21. Імпульсна характеристика приміщення (Beranek L. Music, Acoustics and Architecture)

Після обробки приміщенням, звуковий сигнал обробляється слуховою системою людини (периферійною – вушні раковини, слухові канали та головним мозком). Імпульсні характеристики, які отримують на вході лівого і правого слухових каналів, називають бінауральними імпульсними

характеристиками приміщення — BRIR (binaural room impulse response). Вони містять інформацію про розташування та властивості джерела звуку, властивості приміщення і приймача звуку.

Для опису приймача, тобто голови і вушних раковин, використовують або імпульсні характеристики слухової системи, або її передавальну функцію – HRTF (амплітудно- і фазочастотні характеристики – АЧХ і ФЧХ), пов’язані між собою перетворенням Фур’є.

В результаті, для створення моделі просторового звукового образу в комп’ютер потрібно увести такі дані:

- вибрати тип джерела сигналу (музика, спів тощо), записаного в глухому або напівглухому приміщенні;
- вибрати тип приміщення, в якому має звучати джерело або задати його параметри;
- вказати положення джерела звуку в ньому (на сцені, оркестровій ямі тощо);
- задати положення слухача (в партері на балконі);

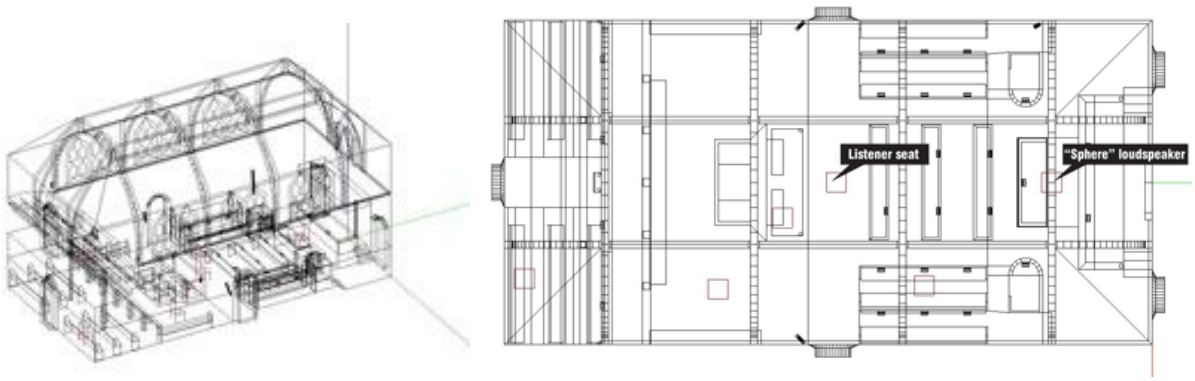
Після обробки даних програмне забезпечення розраховує структуру звукового поля заданого приміщення і обчислює його імпульсну характеристику в точках розміщення лівого і правого вуха. Програма використовує значення передавальних функцій голови (HRTF) з бібліотеки, які відповідають положенню джерела і слухача, й отримує імпульсні характеристики (BRIR). Далі застосовується «згортка» сигналу джерела з імпульсними характеристиками приміщення та імпульсними характеристиками голови.

Після обробки програмним забезпеченням отриманий стереосигнал подають на стереонавушники, що дає можливість слухачеві відчути присутність в концертному залі у заздалегідь визначеному місці.

При прослуховуванні отриманого стереосигналу за допомогою стереосистем потрібно врахувати низку факторів: вплив дифузного поля

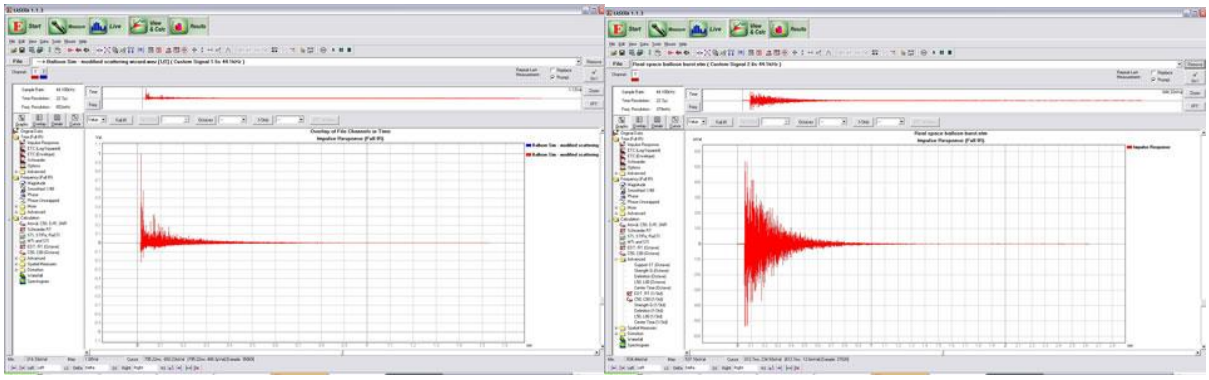
приміщення, де прослуховується музика; вплив перехресних зв’язків під час потрапляння сигналу в різні вуха. Сьогодні з’явились адаптивні процесори для придушення паразитного дифузного поля і біфонічні процесори для придушення перехресних зв’язків.

Еволюція програмного забезпечення для визначення об’єктивних параметрів характеристик концертних залів пройшла тривалий шлях становлення та удосконалення математичного апарату. Сучасне програмне забезпечення може з великою точністю розрахувати фізичні характеристики, скориставшись імпульсними зразками записаними безпосередньо в досліджуваному залі шляхом розміщення у визначених місцях контрольного мікрофона та імпульсного джерела звуку, або змоделювавши їх за допомогою того ж пакету програм, попередньо задавши фізичні параметри. Це інформація про форму та розміри кожної поверхні, коефіцієнт абсорбції (звукопоглинання) тощо. Тестовий гучномовець та місце слухача повинні бути встановлені в моделі в тих самих місцях, де розміщуються в реальних умовах імпульсне джерело звуку та контрольний мікрофон.



а б

Рис. 2.3.22. Приклад моделі форми приміщення (а), місця розміщення слухача та гучномовця (б) (Scientific Acoustics)



а б

Рис. 2.3.23. Розрахунок об’єктивних характеристик концертного залу за допомогою: змодельованої (а), реальної (б) імпульсної характеристики (Scientific Acoustics)

Після обробки даних програмним забезпеченням, отримують значення фізичних параметрів (RT, EDT, BR, C_{80}, Gm, $IACC_{E3}$, ITDG та ін), криві реверберації та 3D графік згасання [39].

Висновки до II розділу

Концертні зали характеризуються, своїми розмірами, формою та пов’язаними з ними об’єктивними акустичними параметрами. Основними об’єктивними параметрами є: час реверберації, структура резонансних частот, час і напрямок приходу ранніх відбиттів. Вони отримуються зі статистичної, геометричної та хвильової теорій оцінки акустичних властивостей концертних залів.

Але, як виявилось, об’єктивні параметри не дають достатньої характеристики якісним показникам концертних залів. Під дією об’єктивних параметрів на слухові органи людини формуються відчуття, які називають суб’єктивною оцінкою якості звучання (просторовість, гучність, тембр тощо). Для повної характеристики якості звучання поряд з об’єктивними параметрами використовують суб’єктивне оцінювання якості звучання. Об’єктивні параметри та суб’єктивна оцінка корелюються між собою.

Вибрані для дослідження концертні зали (Львівської національної філармонії, Львівського національного академічного театру опери та балету імені Соломії Крушельницької, Будинку органної та камерної музики, Національного академічного українського драматичного театру імені Марії Заньковецької, великий зал Львівської національної музичної академії імені М. В. Лисенка), відрізняються архітектурними та конструктивними особливостями (форма, інтер'єр, оздоблення, будівельні матеріали, крісла, підлога, сцена). Усе це суттєво впливає на акустику, а отже – звучання музики в них. Вимірявши, обчисливши та проаналізувавши об'єктивні акустичні характеристики кожного із досліджуваних залів можна констатувати, що не всі показники відповідають рекомендованим величинам.

Суб'єктивна оцінка акустики концертних залів вимагає вибору методу, критеріїв оцінки та встановлення їх зв'язку з об'єктивними параметрами. Для оцінки записів оркестрів використовують тільки суб'єктивне оцінювання. Для оцінювання живого звучання та записів за суб'єктивними критеріями автором дисертації розроблена спеціальна анкета, що суттєво полегшило проведення опитування. Для суб'єктивної оцінки акустики концертних залів та якості звучання в них оркестрів наживо пропонуються методи: 1) метод незалежного прослуховування і прийняття рішення групою експертів із заповненням анкет; 2) метод анкетування та інтерв'ювання. Серед критеріїв: просторове враження, стереофонічний ефект, прозорість, звуковий (музичний) баланс, тембр, перешкоди.

Важливою вимогою при записі оркестрів є правильно вибрані типи мікрофонів, мікрофонних систем та місця для їх встановлення. Через розвиток технологій комп'ютерної обробки звуку з'явилися принципово нові підходи в моделюванні акустики замкнутих приміщень, визначенні їх параметрів та створенні моделей звукового образу. Загалом такі способи моделювання отримали назву «ауралізація» (auralization).

РОЗДІЛ 3. СИСТЕМАТИЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРОВЕДЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО КОРЕКЦІЇ АКУСТИКИ ТА ЗВУКОЗАПИСУ

3.1. Результати анкетування у вибраних залах Львова

В результаті анкетування отримано дані щодо кожного концертного залу. Для оцінки результатів проведених досліджень живого звучання всі дані суб’єктивної оцінки та відповідних їх корелятів об’єктивних акустичних параметрів зібрані в єдиній формі та подані в додатку до розділу 3 у таблицях 3.1.1 , 3.1.3, 3.1.4, 3.1.6, 3.1.8, 3.1.9, 3.1.11 стосовно кожного концертного залу зокрема. Таблиці також містять рекомендовані величини об’єктивних акустичних параметрів для концертних залів. У таблицях 3.1.2 , 3.1.5, 3.1.7, 3.1.10, 3.1.12 додатку до розділу 3 подано результати оцінки записів.

Результати досліджень звучання оркестрів проаналізовані та зображені за допомогою діаграм. Діаграми відображають результати опитування для живого виконання та записів. Оцінювання живого виконання проводилось серед звукорежисерів, композиторів, диригентів, музикантів, музичних критиків та регулярних відвідувачів концертів та вистав. Для записів експертна оцінка проводилась за участю музикантів, композиторів, звукорежисерів, студентів музичної академії. Для кожного концертного залу результати опитувань відображені у відповідній діаграмі.

Додаткове усне опитування шанувальників класичної музики непрофесіоналів показало однобічність їх оцінок («добре», «відмінно»), а тому й меншу точність. Через це вони до уваги не брались.

Діаграма 3.1.1. Оцінка виконання наживо

Середні оцінки виконання наживо підтверджуються об’єктивними акустичними показниками і зображені в таблиці 3.1.1 у додатку до розділу 3.

Діаграма 3.1.2. Оцінка записів

Середні оцінки записів відображені в таблиці 3.1.2 у додатку до розділу 3.

Концертний зал Львівського національного академічного театру опери та балету імені Соломії Крушельницької

Діаграма 3.1.3. Оцінка виконання наживо (яма)

Діаграма 3.1.4. Оцінка виконання наживо (сцена)

Середні оцінки виконання наживо підтверджуються об’єктивними акустичними параметрами і відображені в таблицях 3.1.3, 3.1.4 у додатку до розділу 3.

Діаграма 3.1.5. Оцінка записів

Середні оцінки записів відображені в таблиці 3.1.5 у додатку до розділу 3.

Концертний зал будинку органної та камерної музики

Діаграма 3.1.6. Оцінка виконання наживо

Середні оцінки виконання наживо підтверджуються об’єктивними акустичними параметрами і відображені в таблиці 3.1.6 у додатку до розділу 3.

Діаграма 3.1.7. Оцінка записів

Середні оцінки записів відображені в таблиці 3.1.7 у додатку до розділу 3.

Діаграма 3.1.8. Оцінка виконання наживо (яма)

Діаграма 3.1.9. Оцінка виконання наживо (сцена)

Середні оцінки виконання наживо підтверджуються об’єктивними акустичними показниками і відображені в таблиці 3.1.8, 3.1.9 у додатку до розділу 3.

Діаграма 3.1.10. Оцінка записів

Середні оцінки записів відображені в таблиці 3.1.10, у додатку до розділу 3.

Великий зал Львівської національної музичної академії імені М. В. Лисенка

Діаграма 3.1.11. Оцінка виконання наживо

Середні оцінки виконання наживо підтверджуються об’єктивними акустичними параметрами і відображені в таблиці 3.1.11, в додатку до розділу 3.

Діаграма 3.1.12. Оцінка записів

Середні оцінки записів відображені в таблиці 3.1.12 у додатку до розділу 3.

3.2. Порівняння звучання творів та записів у вибраних залах

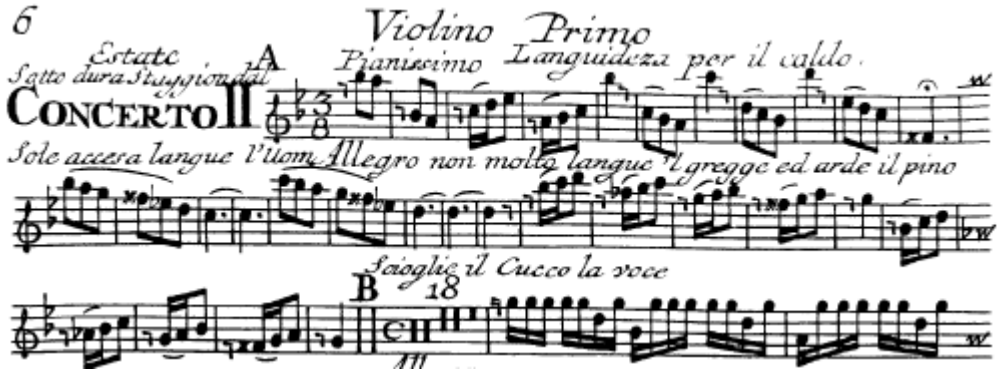
Порівняння звучання оркестрів здійснено на прикладах творів А. Вівальді та Ж. Бізе. Цикл «Чотири пори року» італійського композитора Антоніо Вівальді, написаний 1723 році та опублікований у 1725, є одним з найпопулярніших його творів, а також одним з найвідоміших музичних творів доби бароко.

Цикл «Чотири пори року» неодноразово звучав у концертному залі Львівської філармонії. Зокрема, академічний камерний оркестр «Віртуози Львова» виконував його в своєму авторському проекті «4×4» – «Пори року». Також твори із цього циклу звучали в концертному залі Львівського будинку органної та камерної музики в проектах «Перлини світової барокової музики» та «Венеціанський чарівник» у цьому ж виконанні.

Внаслідок значних відмінностей акустичних характеристик цих двох концертних залів звучання творів даного циклу «Чотири пори року» має значні відмінності. Надмірне відчуття просторовості, що породжує великий час реверберації в залі органної та камерної музики, безпосередньо впливає на всі параметри оркестрового звучання, включно із сценічним показником. Якщо у залі філармонії просторовість та ширина доповнюють одне одного створюючи просторовий звуковий образ, то в залі органної та камерної музики в силу описаних причин звучання віддалене, вузьке. Тобто тут має місце певна невідповідність зорового сприйняття із слуховим. Ця невідповідність зростає із відстанню від сцени. Особливо це відчутно в рядах, які розміщені далі від сцени.

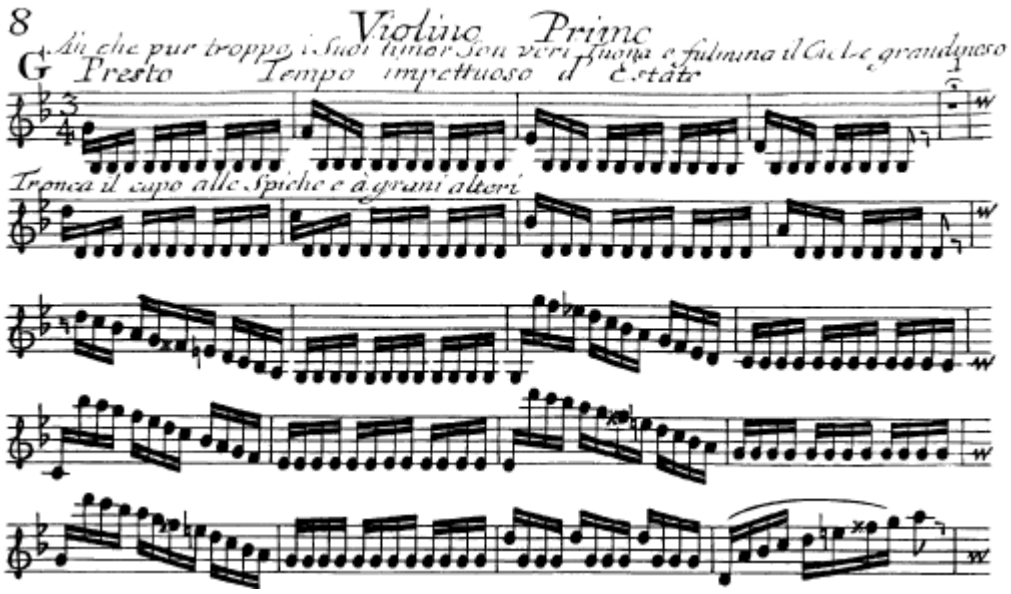
Ці явища добре прослуховуються, якщо розглянути звучання частини циклу «Чотири пори року» концерт № 2, соль мінор, «Літо» А. Вівальді. Особливо варто звернути увагу на такий параметр як музична розбірливість. В обох залах у частинах Allegro non molto (1) та Adagio e piano — Presto e

forte (2) повільні місця за музичною розбірливістю сприймаються майже однаково (приклад 1), натомість швидкі значно відрізняються.



Приклад 3.2.1. Частина партитура для I-ї скрипки (Allegro non molto)

Особливо це можна спостерегти в частині Presto (3) «Літня гроза» (приклад 2), де артикуляція струнних нечітка, а мелодичні лінії практично зливаються. Це стосується органного залу. У філармонії музична розбірливість набагато краща, оркестрова фактура тут прослуховується протягом звучання цілого твору, артикуляція струнних чітка, мелодична лінія розбірлива.

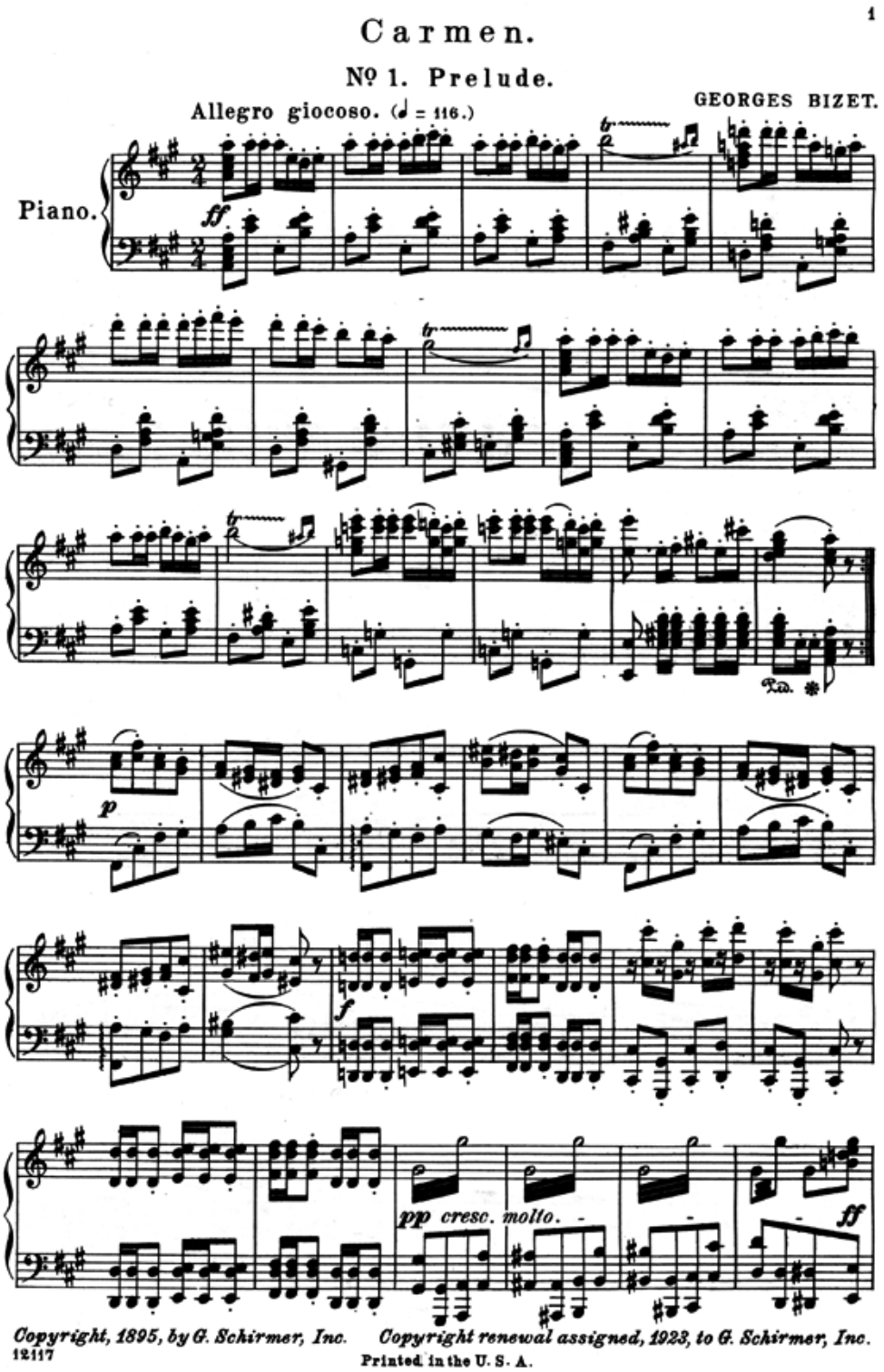


Приклад 3.2.2. Частина партитура для I-ї скрипки (Presto)

Тембр звучання оркестру кращий у залі Львівської філармонії, де прослуховується світлість верхнього частотного діапазону, а баси забезпечують м’якість звучання. Таких тембральних характеристик не має звучання в органному залі. Безперечно, на це здійснює вплив форма залу та його оздоблення. Особливо відчутний вплив на світлість звучання у верхньому частотному діапазоні. Загалом, краще враження від звучання цього твору у виконанні академічного камерного оркестру «Віртуози Львова» безперечно справляє концертний зал Львівської філармонії.

Увертюра до опери «Кармен» французького композитора, диригента, піаніста доби романтизму Жоржа Бізе є в репертуарі багатьох Львівських колективів. Цей твір неодноразово звучав на сцені Львівської філармонії у симфонічних концертах (Opera Gala), також він звучав на сцені концертного залу Львівського будинку органної та камерної музики. Опера «Кармен» є в репертуарі трупи Львівського оперного театру.

Увертюра до опери «Кармен» є цікавим твором з точки зору його звучання у львівських концертних залах. Її звучання визначають темпоритм, динамічні відтінки, оркестрова фактура, тембр. Для порівняння гучності та динамічних відтінків звучання взято початкову частину увертюри (приклад 3.2.3).



Приклад 3.2.3. Клавір початкової частини увертюри опери «Кармен»

Найкращу оцінку отримало звучання увертюри у Львівській опері, де гучність звучання не викликає спотворень інших параметрів оркестрового звучання, а динамічні відтінки звучать виразно. Незначна нестача

просторовості у звучанні сповна компенсується тембральними показниками та доброю музичною розбірливістю. Загалом сформований просторовий звуковий образ повністю співпадає з візуальним сприйняттям зорової картини.

Дещо гірші показники має звучання у Львівській філармонії, де гучність звучання викликає деякі тембральні спотворення в силу недостатнього об'єму концертного залу. Це можна спостерегти у частинах, де оркестр звучить в динаміці ff. Загалом, решта показників в інших динамічних відтінках, таких як тембр, музична розбірливість або прозорість звучання залишаються в нормі. Відчуття просторовості та ширини звучання оркестру співпадає із зоровим образом.

Найгіршу оцінку отримало звучання даного твору в концертному залі Львівського будинку органної та камерної музики. Назва концертного залу свідчить сама за себе. Надмірна просторовість, що породжує великий час реверберації, безпосередньо впливає на всі параметри оркестрового звучання включно. Форма залу не дає достатнього відчуття ширини у звучанні. Твір звучить нібито здалека, потопаючи у надмірній реверберацiйній картині. Звідси – й занижені всі параметри оркестрового звучання. Найгіршим з показників є прозорість звучання або музична розбірливість. Внаслідок цього оркестрова фактура важко сприймається на слух. Розбірливість мелодичної лінії нечітка. Тембр звучання перенасичений звуками, породженими багатократними відбиттями, він доповнюється резонуванням віконних рам, в деяких випадках з додаванням «металевості» у звучанні. Динамічні відтінки не відчуваються повною мірою через накладання багатократно відбитих звукових хвиль. Загалом твори такого жанрового спрямування не бажано виконувати у цьому концертному залі.

Радіомовлення у місті Львові бере свій початок від 1930 року. Перші реєстрації мікрофонних матеріалів з'явились у 1940 році. Архів записів бере

свій початок орієнтовно від 1945 р., після встановлення професійних пристроїв магнітного запису.

24 грудня 1957 року є початком офіційної діяльності обласного комітету з телебачення і радіомовлення, сьогодні це Національна телерадіокомпанія України, Львівська філія[1].

Від початку трансляція концертів велась у прямому ефірі. Під час радіотрансляції звуковий сигнал, знятий мікрофонними системами поступав на передаючий центр і транслювався в ефір. У випадку телетрансляції звук транслювався разом із відео.

З появою перших звукозаписуючих пристроїв концерти отримали змогу транслюватись шляхом відтворення із магнітних носіїв. Дуже часто відбувались записи під час трансляції концертів у ефір. Такі записи отримали назву «запис по трансляції». З появою таких записів бере свій початок архів записів Львівської телерадіокомпанії.

Для порівняння звучання оркестрів з архіву було відібрано зразки записів різних років. Більшу увагу було сконцентровано на останніх записах. Список архівних записів подано у додатку до розділу 3.

Прослуховуючи записи та аналізуючи їх звучання, можна сказати, що з появою сучасних звукозаписуючих засобів якість звучання музики значно зросла. Якщо перші записи були виконані за допомогою одного мікрофону, то з плином часу був здійснений перехід на двомікрофонні системи та багатомікрофонні сесії звукозапису.

Перші звукозаписи мають більш інформаційний характер, тобто несуть інформацію про мистецьку подію, яка відбувалась у концертному залі в певний час. Це монофонічні записи на магнітній стрічці. На жаль, магнітна стрічка має обмежений термін зберігання, тому більшість записів

---

[1] Стара назва – Львівська обласна державна телерадіокомпанія.

мають здатність втрачати свою якість. Аналізуючи звучання записів 1970-1980-х років минулого століття, можна сказати, що вони відрізняються від сучасних нижчими показниками просторовості, тембру, прозорості. Записи містять явні ознаки перекомпресованості. Через свою монофонічність відсутній стереофонічний ефект, що погіршує розбірливість та визначеність звукових планів. Рівень шумів має відчутний показник.

Робота з архівними записами Львівської телерадіокомпанії показала, що потрібне більш глибоке вивчення та систематизація записів, особливо здійснених до 1980-х років. В силу обмеженого терміну дії носіїв вони потребують реставрації та перезапису на сучасні носії. На даному етапі проводиться активний перезапис архівних записів на цифрові носії задля збереження культурної спадщини. Зокрема, й перезапис симфонічної та камерної музики, що звучала у концертних залах Львова.

Аналізуючи записи 1990-х років, можна відзначити покращання показників звучання. Це пов’язано з технічним прогресом та появою цифрового запису. Цифрові носії мають відносно великий термін зберігання інформації та практично необмежену кількість копіювань без втрати якості, що не можна сказати про магнітні записи. На даний час багато записів з архіву телерадіокомпанії відреставровані, оцифровані та збережені на цифрових носіях. Експертною групою[1] було прослухано серію оцифрованих записів та відзначено покращання показників звучання у порівнянні з магнітними носіями. Зокрема, тембр звучання став багатшим за рахунок розширення частотного діапазону. Відповідно, критерії оцінки: світлість, яскравість та чистота, прозорість, розбірливість отримали вищий бал.

Нове тисячоліття ознаменувалось поступовим повним переходом на цифрову техніку. Повне оновлення технічних засобів запису та ефірного

---

[1] До складу групи входили музиканти, звукорежисери, композитори, студенти муз. академії.

мовлення пройшло і на Львівській телерадіокомпанії. Прослухані записи були добре оцінені експертною групою. Всі оцінки за критеріями отримали ще вищі показники. Відмічено низький рівень технічних шумів. За рахунок застосування багатомікрофонних сесій звукозапису покращились такі показники як *звукові плани*, *близькість (присутність)*, *текстура*, *звуковий баланс*. Такий критерій оцінки як *техніка мікрофонного прийому* отримав високу оцінку.

На жаль, в силу технічних умов ефірного мовлення записи для архіву Львівської телерадіокомпанії ведуться у монофонічному режимі. Під час прослуховування записів не формується відчуття просторового звукового образу. Звукова доріжка аудіовізуального продукту двоканальна – це, так зване, «псевдо стерео». Внаслідок цього останні записи помітно поступаються якістю записам сучасних львівських рекордінгових студій. Це помітно в таких показниках як *просторовість*, *просторова перспектива* та *стереофонічний ефект*. Оцінка за критерієм *гучність*, *динамічний діапазон* також помітно краща у записах студій, на відміну від оцінки останніх архівних записів телерадіокомпанії, де динамічний діапазон звучання дещо вужчий (записи перекомпресовані). У деяких моментах звучання останніх архівних записів має місце незначне спотворення звучання, що виникло внаслідок перевантаження в процесі звукозапису за рахунок широкого динамічного діапазону звучання симфонічних оркестрів. Це перевантаження виникло через недостатній рівень звукового сигналу на нижніх границях динамічного діапазону і, як наслідок, збільшення чутливості тракту звукозапису.

3.3. Кореляція суб'єктивної оцінки з об'єктивними акустичними параметрами

Суб'єктивне оцінювання в комплексі з об'єктивними акустичними параметрами використовується, як згадувалось вище, для повної оцінки

акустичних характеристик концертного залу. Їх співвідношення досліджувалося багатьма вченими акустиками.

Перед тим як встановити кореляти між суб'єктивною оцінкою та об'єктивними параметрами в оцінюванні якості звучання музики в концертних залах, була виконана загальна класифікація всесвітньо відомих концертних залів за якістю звучання в них різних оркестрів та музичних творів, переважно керуючись третім методом для визначення суб'єктивної акустичної якості звучання. В результаті цих досліджень близько 53 концертних залів були поділені на 6 груп: А+, А , В+, В, С+, С. Після проведення відповідних фізичних замірів, Л. Беранеком були представлені суб'єктивні та об'єктивні параметри, які, на його погляд, добре корелюються між собою [57, с 709].

Суб'єктивні атрибути	**Об'єктивні виміри**	
Реверберація, просторовість	Час реверберації, с	RT – reverberation time, EDT – early decay time
Просторовість, ширина (середні частоти)	Коефіцієнт внутрішньослухової крос-кореляції, 0-80мс	$IACC_{E3}$ – interaural cross-correlation coefficient
Просторовість (низькі частоти)	Рівень звуку НЧ, дБ	G_L (125, 250Hz)
Гучність	Рівень звуку, децибели (дБ)	G_M (500, 1000, 2000Hz)
Обгортання	$IACC_L$, проінтегрований в діапазоні 0,08 – 1с	$IACC_L$
Чистота	Коефіцієнт ранньої/реверберaційної енергії	$C_{80(3)}$ – early/reverberant sound energy ratio
Тембр (коефіцієнт низького тону)	$(RT_{125} + RT_{250})/(RT_{500} + RT_{1000})$	BR_{occ} – bass ratio
Інтимність	Інтервал між початковим часом і затримкою, мс	ITDG – initial-time-delay gap

Табл. 3.3.1. Суб'єктивні властивості, пов'язані з якістю акустики в концертних залах, і об'єктивні акустичні виміри які добре співвідносяться між собою

Час реверберації (RT) в наведеній таблиці визначається як час, за який рівень звукового тиску впаде від -5 до -35 дБ для заповнених залів (occupied). Ранній час реверберації або час ранніх згасань (EDT) для незаповнених залів (unoccupied) – це час, за який рівень звукового тиску впаде на 10 дБ після приходу прямого звуку.

Об’єм безпосередньо впливає на час реверберації, а це, своєю чергою, впливає на якість звучання музики. Тому симфонічна музика добре звучить в залах з великим об’ємом, а камерна – у менших залах.

Просторовість або просторове сприйняття визначається за тим, як у слухача асоціюється сприйняття музичного образу з простором, де звучить музика. В хороших концертних залах слухач відчуває, що оркестр звучить повно, ніби звук випромінюється зі всієї ширини залу, включаючи реверберацію зі всіх сторін, і навіть іззаду. Просторовість контрастує з відчуттям, коли музика звучить нібито через вікно, розміром з групу виконавців, що знаходяться в полі зору. Ще одна назва просторового сприйняття – «*обгортуваність*». Це слухове сприйняття асоціюється із зануренням в реверберaційне звукове поле [74; 166]. Просторовість добре асоціюється з коефіцієнтом внутрішньослухової крос-кореляції ($IACC_{E3}$), який визначається різницею звукових полів на двох вухах, як за часом, так і за амплітудою. Така різниця має місце в часовому інтервалі 0-80 мс ($IACC_{E}$) після приходу прямого звуку до місця, де перебуває слухач, і, береться в трьох октавних смугах: 500, 1000, 2000 Гц ($IACC_{E3}$). Для отримання зростаючих величин, замість коефіцієнта внутрішньослухової крос-кореляції використовується величина [1-$IACC_{E3}$]. Саме вона використовується для порівняння із суб’єктивними оцінками [73, с. 167]. Було встановлено, що середнє значення величини [1-$IACC_{E3}$], обчисленої у 8 – 20 точках і при 1 – 3 положеннях джерела звуку, для досліджуваних залів змінюються в діапазоні 0,41 – 0,71.

Рівень або сила звуку (G_M) – це різниця між рівнем звуку, виміряним на позиції слухача, і рівнем звуку, виміряним на відстані 10 м від джелела в середовищі без реверберації. Вимірювання проводяться на частотах 125, 250, 500, 1000, 2000 і 4000 Гц у багатьох положеннях в залі. Якщо виміряна величина включає прямий звук і енергію до 80 мс після його приходу та усереднене значення в октавних смугах 500, 1000, 2000 Гц, то її позначають – G_{E3}. Ця величина добре корелюється із гучністю.

Просторовість низького тону також корелюється із шириною звукового джерела і пов'язана з рівнем низького тону. Якщо ця величина є усередненим значенням в октавних смугах 125 і 250 Гц, то її позначають G_{L2} [170].

Коефіцієнт ранньої/реверберaційної енергії досить легко оцінюється слухачами під час концерту і корелюється з таким суб'єктивним відчуттям, як *чистота* або *прозорість*, також розбірливість. Він визначається як відношення ранньої звукової енергії в перші 80 мс після приходу прямого звуку до пізнішої звукової енергії (після 80 мс), виміряної на місці слухача. Якщо ця величина усереднена в октавних смугах 500, 1000, 2000 Гц, то її позначають $C_{80(3)}$. Як зазначалось вище, розбірливість може бути горизонтальною і вертикальною. Горизонтальна відповідає за розбірливість послідовного в часі розгортання музики, тобто – розбірливість мелодичної лінії, темпу, метроритму, динаміки, фразування і т. д.; вертикальна – за розбірливість звуків, що звучать одночасно, тобто – розбірливість гармонічної структури, фактури, інструментування тощо.

Коефіцієнт низького тону ($BR_{occ.}$) корелюється з такою суб'єктивною оцінкою як *тембр* і визначається як відношення середнього часу реверберації на частотах 250 і 500 Гц до середнього часу реверберації на частотах 500 і 1000 Гц. В обох випадках зали повинні бути заповнені. Зал з високим коефіцієнтом низького тону характеризується музичною «теплотою» [57; 124].

Такі поняття, як «*життєвість*» прямо пов’язані з часом реверберації на середніх та високих частотах. Для кожного типу музики і мови існує оптимальний час реверберації, який змінюється в межах 0,4 – 1 с для мови, 1 – 1,5 с – для камерної музики, 1,6 – 2,2 с – для симфонічної музики та 2,3 – 3,4 с для церковних хоралів та органу.

Інтимність (присутність, камерність, близькість) визначає для слухача віртуальний простір, в якому він слухає музику. Інтимність добре корелюється з величиною ITDG, що означає різницю в часі між приходом прямого звуку і першого відбиття. На інтимність частково також впливає гучність. Найбільше значення для відчуття інтимності мають перші відбиття від бічних стін (в залах з досить високою стелею) та від стелі (в невисоких залах). Велика різниця в часі між прямим звуком та першими відбиттями створює відчуття віддаленості (відірваності) від виконавців та виконуваної музики. В залах, де виконується симфонічна музика цей інтервал складає 15 – 30 мс (для слухача, що перебуває в центрі залу). В межах цього часу, якщо відбиття мають подібний спектр і обвідну, а їх гучність не вища гучності прямого звуку, вони не сприймаються як окремі звуки. Також ці відбиття краще локалізують джерело [61, с. 27]. Камерна музика добре звучить в залах із затримкою перших відбиттів менше 15 мс. Тому, коли камерні твори виконуються у великих залах з великим часом затримки ранніх відбиттів, для покращення акустичних характеристик залу використовують додаткові відбиваючі поверхні по боках і на стелі, що дозволяє створити додаткові ранні відбиття з меншим часом затримки і, тим самим, покращити сприйняття музики.

Також до суб’єктивної оцінки додаються додаткові критерії. Вони істотно впливають на результати під час прослуховування музичного матеріалу.

Баланс – це оцінка гучності окремих інструментів відносно гучності цілого оркестру. Баланс встановлюється між групами інструментів, між

солістами та оркестром і залежить від акустичних особливостей сцени або оркестрової ями, розміщення груп інструментів, професійності музикантів і диригента.

Ансамбль – поняття, яке означає злагодженість та ритмічність виконання. Відчуття ансамблю залежить від того, як музикант чує себе і своїх колег, а отже, також залежить від акустичних особливостей сцени або оркестрової ями, розміщенням груп інструментів, професійності музикантів та диригента.

Текстура – параметр, пов'язаний з суб'єктивним відчуттям перших дискретних відбиттів, різницею між приходами перших і подальших відбиттів та співвідношенням їх амплітуд.

Сучасні концертні зали при хорошому виконанні музики задовольняють всі суб'єктивні критерії, що забезпечується правильними об'єктивними параметрами. Оскільки в них відсутня оркестрова яма, оркестри і ансамблі розташовуються безпосередньо на сцені. Оптимальний час реверберації залежить від виконуваної музики і становить: для органної музики – 3–5 с, для симфонічної – 2–2,2 с, для камерної – 1,3–1,6 с. При таких реверберацiях на одного слухача має припадати: для органної музики – 10-12 м^3 об'єму, для симфонічної – 8-10 м^3 об'єму, для камерної – 6-7 м^3 об'єму приміщення. Такі параметри властиві для залів, що вміщають 1500–2000 чоловік та об'ємом 12000–20000 м^3. Максимальна допустима віддаленість слухачів від сцени становить 40 м для партеру і 45 м для балкону. Ці результати були отримані в результаті багатьох статистичних досліджень. Обмеження ширини і висоти стосується перш за все портальної частини для забезпечення структури ранніх відбиттів. В середній і задній частині залу ці розміри можуть бути збільшені. Ширина залу біля порталу рекомендується не більшою за 25 м, а на відстані одної третьої – не більше 30 м. Висота залу біля порталу не повинна бути більшою за 9 м (від підлоги сцени), а на відстані 7м від порталу – 10,5 м. [7, с. 303].

Для музикантів на сцені суб'єктивні відчуття, що виникають в процесі виконання музичних творів, мають суттєву вагу. Музиканти повинні чути процес згасання в паузах, чути себе на низьких рівнях звуку, оцінити тембр, динаміку, яку дозволяє розвинути зал. Якщо музиканти розташовуються далеко один від одного, то можуть виникнути затримання у звучанні інструментів та зменшення гучності сусідніх інструментів, що може привести до втрати ритмічного балансу.

Досліди показали, що відчуття підтримки у музикантів виникає при високому рівні ранніх відбиттів на сцені, які перевищують поріг чутності. Для забезпечення ансамблю величина затримки прямого звуку між сусідніми виконавцями не повинна перевищувати 20 мс. Ширина, глибина і висота сцени обмежує кількість виконавців. Площа виділена на кожного виконавця повинна становити не менше 2 м^2 [7, с. 304].

Якщо оркестр розміщується на просторій сцені, то для покращення звучання використовуються акустичні раковини, що складаються із систем звуковідбиваючих поверхонь [2, с. 520].

Згодом були уведені ще декілька фізичних параметрів, які дають розширену характеристику, враховуючи рівень акустичної комфортності для музикантів на сцені та в оркестровій ямі. Це: 1) T_s (Center Time) – центр ваги, піднесеної до квадрату імпульсної перехідної характеристики, який вказує на баланс між прозорістю та реверберацією і впливає на суб'єктивне враження степеня розбірливості та прозорості [40, с. 3]; 2) LF_{E4} (Lateral Efficiency) – відношення рівня бічної звукової енергії до рівня всієї звукової енергії протягом 80 мс від моменту приходу прямого звуку. Цей параметр корелюється із просторовим враженням видимого звукового джерела, тобто з шириною сприйняття звукової картини (ASW[1]) [40, с. 4]; 3) $ST(sp)_{mid}$

[1] ASW – видима ширина джерела (apparent source width).

(Room Support) – параметр, що оцінює рівень акустичного комфорту на сцені та в оркестровій ямі, і вказує на здатність музикантів чути себе та решту членів оркестру [40, с. 4]. За таке суб’єктивне відчуття як обгортуваність, об’ємність (LEV[1]), крім величини басу та коефіцієнта внутрішньослухової крос-кореляції (визначеного в низькому діапазоні частот та проінтегрованого в часі 80 мс – 1 с), також відповідає рівень пізньої бічної енергії[2] (L_J).

Нижче (таблиці 3.3.2 – 3.3.6) показані ці співвідношення, а також продемонстровано підтверджуваність суб'єктивної оцінки об'єктивними акустичними параметрами. Параметр ITDG, якого не було в попередніх двох таблицях, – це розрив між прямим звуком і першими відбиттями, отриманий експериментальним шляхом з імпульсного відгуку, і становить 20–40 мс, що є допустимою величиною. Вираз «*частково підтверджується*» означає, що обидві величини, що порівнюються, мають певні незначні розбіжності [203].

---

[1] LEV – обгортуваність (listener envelopment).
[2] Визначений після 80 мс та усереднений в октавних полосах 125, 250, 500, 1000 Гц.

Суб'єктивні критерії	Акустичні параметри	Коментарі
Просторовість	RTmid, EDTmid	Підтверджується
Ширина	$IACC_{E3}$, LF_{E4}	Частково підтверджується (IACC), Підтверджується (LF)
Тембр (рівень басу)	BR	Підтверджується
Тембр (світлість)	Br	Підтверджується
Чистота, прозорість, розбірливість, чіткість, ясність	C_{80}, Ts, D	Підтверджується. Частково підтверджується (D)
Гучність, динамічний діапазон	G	Частково підтверджується (для великих складів оркестрів)
Близькість, присутність	ITDG	Підтверджується
Підтримка, взаємодія	ST(sp)	Частково підтверджується

Таблиця 3.3.2. Львівська філармонія

Суб'єктивні критерії	Акустичні параметри	Коментарі
Просторовість	RTmid, EDTmid	Підтверджується
Ширина	$IACC_{E3}$, LF_{E4}	Підтверджується. Частково підтверджується для сцени (IACC),(LF)
Тембр (рівень басу)	BR	Підтверджується
Тембр (світлість)	Br	Підтверджується. Частково підтверджується для сцени
Чистота, прозорість, розбірливість, чіткість, ясність	C_{80}, Ts, D	Підтверджується. Частково підтверджується (C_{80}) для сцени
Гучність, динамічний діапазон	G	Підтверджується
Близькість, присутність	ITDG	Підтверджується
Підтримка, взаємодія	ST(sp)	Частково підтверджується для сцени

Таблиця 3.3.3. Львівська опера

Суб'єктивні критерії	Акустичні параметри	Коментарі
Просторовість	RTmid, EDTmid	Частково підтверджується
Ширина	$IACC_{E3}$, LF_{E4}	Підтверджується
Тембр (рівень басу)	BR	Підтверджується
Тембр (світлість)	Br	Підтверджується
Чистота, прозорість, розбірливість, чіткість, ясність	C_{80}, Ts, D	Підтверджується
Гучність, динамічний діапазон	G	Частково підтверджується (для великих складів оркестрів)
Близькість, присутність	ITDG	Підтверджується
Підтримка, взаємодія	ST(sp)	Частково підтверджується

Таблиця 3.3.4. Органний зал

Суб'єктивні критерії	Акустичні параметри	Коментарі
Просторовість	RTmid, EDTmid	Підтверджується
Ширина	$IACC_{E3}$, LF_{E4}	Частково підтверджується (IACC), Підтверджується (LF)
Тембр (рівень басу)	BR	Підтверджується
Тембр (світлість)	Br	Частково підтверджується
Чистота, прозорість, розбірливість, чіткість, ясність	C_{80}, Ts, D	Підтверджується. Частково підтверджується (C_{80})
Гучність, динамічний діапазон	G	Підтверджується
Близькість, присутність	ITDG	Підтверджується
Підтримка, взаємодія	ST(sp)	Частково підтверджується

Таблиця 3.3.5. Театр імені Марії Заньковецької

Суб'єктивні критерії	Акустичні параметри	Коментарі
Просторовість	RTmid, EDTmid	Підтверджується
Ширина	$IACC_{E3}$, LF_{E4}	Підтверджується
Тембр (рівень басу)	BR	Підтверджується
Тембр (світлість)	Br	Підтверджується
Чистота, прозорість, розбірливість, чіткість, ясність	C_{80}, Ts, D	Підтверджується. Частково підтверджується (D)
Гучність, динамічний діапазон	G	Частково підтверджується (для великих складів оркестрів)
Близькість, присутність	ITDG	Частково підтверджується
Підтримка, взаємодія	ST(sp)	Частково підтверджується

Таблиця 3.3.6. Великий зал ЛНМА імені М. В. Лисенка

3.4. Рекомендації щодо звукозапису і акустичної корекції

Естетична оцінка звучання музики базується на суб'єктивному сприйнятті музичного матеріалу людиною на відміну від об'єктивних акустичних параметрів, які характеризують акустичні властивості замкнутого середовища. В нашому випадку ми ставимо за мету описати та оцінити звучання оркестрів у львівських концертних залах на основі результатів, отриманих внаслідок наукових досліджень суб'єктивного сприйняття звучання музики.

Суб'єктивна оцінка звучання оркестрів показує, що критерії оцінки перебувають у тісному взаємозв'язку між собою. Низька оцінка за одним із критеріїв впливає на результати оцінки за іншими далеко не в кращу сторону. При надмірній просторовості не може бути хорошою прозорість та розбірливість. При поганому відчутті ширини джерела звуку – правильна локалізація джерел, а отже, і визначеність музичних інструментів. Адекватне відчуття присутності або близькості до джерела не може виникнути при надмірній просторовості. Велика гучність призведе до спотворення тембру.

Із сучасним розвитком технічних можливостей звукозаписуючих пристроїв, а особливо з розвитком цифрових технологій, можливості передати в записах усю повноту звучання оркестрів значно зросли.

3.4.1. Концертний зал Львівської філармонії

Звучання класичної музики у виконанні симфонічних та камерних оркестрів у Львівській філармонії відповідає стандартам звучання класичної музики, про що свідчать результати суб'єктивного оцінювання та об'єктивні акустичні параметри. На записах передається акустична атмосфера концертного залу та виникає відчуття ефекту присутності при прослуховуванні музичного матеріалу. Оцінки звучання та запису відповідно зображені у діаграмах 3.1.1 та 3.1.2.

Оцінка *просторовості*, що пов’язано з розмірами самого залу, в обох випадках була високою, що підтверджується об’єктивними акустичними показниками. Відчутна *ширина* в горизонтальному плані, що пов’язано з *бінауральними* властивостями людського слуху, дає змогу при звукозаписі застосовувати багатомікрофонну сесію, що дає хороші результати під час зведення музичного матеріалу. Двомікрофонні сесії не дають таких високих результатів через обмеження кількості приймачів. *Тембр* звучання повний, наповнений обертонами по всьому частотному діапазоні, що викликає відчуття обгортуваності звуком та світлості звучання. Темброва драматургія чітко прослуховується під час живого виконання та на записах. *Чистота* і *прозорість* присутні під час звучання, забезпечують розбірливість таких фактурних компонентів, як мелодична та гармонічна лінії, що дає чітку визначеність музичних інструментів, присутніх на момент звучання. Щодо *гучності* та *динамічного діапазону*, то для залу Львівської філармонії існують деякі обмеження. Слід відкорегувати у надмірно великих складах симфонічних оркестрів такий динамічний відтінок як *форте*, який у момент звучання може викликати у слухача відчуття надмірної гучності та веде до

спотворення тембру і просторового звукового образу в цілому. Якщо врахувати інерційні властивості слуху людини, то таке явище призведе, своєю чергою, до погіршення сприйняття звучання твору протягом деякого проміжку часу, що пов'язано з відновлюваними властивостями людського слуху. Таке явище також є неприпустимим при проведенні сесії звукозапису і вимагає корекції динамічного діапазону. Доцільно певною мірою знизити верхні границі гучності, що можна досягти шляхом проведенням попередніх репетиції та пробних записів з метою досягнення прийнятного звучання музичного твору для даного замкнутого простору. В протилежному випадку для дириґента, звукорежисера та всіх учасників концерту це може стати «випробуванням вогнем» [61, с. viii]. Динамічні показники повинні бути визначені дириґентом оркестру в тісній співпраці із звукорежисером, який проводить звукозапис. Для класичної музики слід надавати перевагу природній корекції динамічного діапазону замість штучної, що виконується за допомогою приладів. Такі показники, як *близькість*, *присутність*, *текстура* забезпечують повною мірою відчуття близькості до джерела і відчуття м’якості – у повільній та драйвовості – у швидкій, фактурно насиченій музиці.

Звуковий баланс, вповні залежать від професійних якостей колективів, що забезпечуються диригентом та музикантами, він отримав високу оцінку експертів під час звучання колективів. Особливо такі показники досягаються під час живих концертів коли існує тісний взаємозв’язок між публікою та музикантами. Це своєю чергою відчувається на записах, де шум публіки сповна компенсується виконавською майстерністю колективів.

Ансамбль, інструментовка (аранжування) в силу прийнятих початкових умов дослідження не були включені в анкетування. Але слід зазначити, що звучання залежить від уміння оркеструвальника зробити переклад на певний склад оркестру та в багатьох випадках отримала високу оцінку експертів. Натомість при виконанні сучасних творів молодих

композиторів, що мали місце на фестивалях, які проходили у львівських концертних залах, було відзначено ряд недоопрацювань. Це виражалось у переобтяженні фактури, що, відповідно, мало вплив на виконавські показники. Часто твори виконувались після одної-двох репетицій. Таке явище впливало на звукозапис. З метою економії часу деколи звукозапис виконувався частинами, одразу після декількох спроб, що розривало цілісність виконання твору і ставило під сумнів його художньо-естетичну цінність. Склад оркестру набирався безпосередньо під визначений проект, що ставило звукорежисера перед фактом і змушувало вирішувати звукорежисерські завдання експромтом.

При звучанні малих складів камерних ансамблів, таких як квартет, тріо, дует, може значно погіршитись звучання за рахунок недостатнього рівня гучності. Ці відчуття виникають, як правило, на віддалених від сцени місцях партеру та балкону. Такі показники як ширина, чистота, прозорість, розбірливість, гучність, динамічний діапазон, близькість, присутність значно понижуються, тому такі явища потрібно врахувати при звукозапису. В даному випадку доцільно застосовувати стереосистеми звукозапису, що описані в підрозділі 2.3. Їх треба розташовувати на достатньо близькій відстані від джерела в охопленні полярної діаграми мікрофонів. При коректному застосуванні цих мікрофонних систем можна досягти досить високих показників у звучанні записів ансамблів, де акустичні властивості залу тільки покращать їх. При прослуховуванні таких записів вони отримали високу оцінку експертів.

Підтримка, взаємодія або слуховий контроль у звучанні, тобто чутність себе й інших учасників оркестру, оцінювалась музикантами оркестру та загалом отримала хорошу оцінку, за винятком крайніх біля стін місць на сцені, де чутність учасників оркестру, розташованих навпроти погіршена.

Присутність *шумових перешкод* незначна, хоча під час концертів на записах має місце шуми в оркестрі (перегортання партитури, тупіт, робота клапанів духових інструментів, зміна позиції на струнних) та більш відчутні шумові перешкоди у публіки.

Загалом *загальне враження* від звучання оркестрів у концертному залі Львівської філармонії отримало високу художньо-естетичну оцінку, що підтверджується думкою експертів та відповідає, як було зазначено вище, стандартам звучання класичної музики, про що свідчать результати суб'єктивного оцінювання та об'єктивні акустичні параметри.

У деяких анкетах опитування були зауваження на надмірність басу. Це можна пояснити наявністю незначних формантних областей у нижньому частотному спектрі, що виникають унаслідок інтерференції звукових хвиль. Таке явище може бути пов'язано зі специфікою розміщення музикантів на сцені, і, в деяких випадках, – слухачів у віддалених місцях партеру і балкона. Під час звучання великого складу симфонічного оркестру в момент виконання динамічного відтінку «форте» (f), частіше «фортіссімо» (ff), виникає акустичне перевантаження, що призводить до спотворення тембру, на що вказує величина суб'єктивного критерію «*гучність*» в анкетах (див. Додаток до розділу 3, таблиця 3.1.1) та діаграма 3.1.1, а також об'єктивний акустичний параметр – G (таблиця 2.1.3). Це явище можна пояснити недостатнім об'ємом концертного залу для звучання великих складів оркестрів.

Для покращання умов звукозапису пропонується встановити стаціонарні мікрофонні підвісні стереосистеми, що закріплені на підвісному тросі на висоті 2,5–3 м над сценою. Сумісну пару типу ORTF слід розмістити над диригентом, а зліва і справа закріпити бічні флангові мікрофони на відстані 2-3 м від бічних стін.

Приклад багатомікрофонної сесії звукозапису подано на світлині 3.1 в Додатку до розділу 3.

Задля покращення акустичних умов при надмірних гучностях, що виникають під час звучання великих складів симфонічних оркестрів, можна запропонувати монтаж висувних звукопоглинаючих панелей над сценою. Для створення однорідного дифузного поля в залі на бічних стінах підбалконового простору – закріпити акустичні розпорошувачі типу «Шредер-дифузор». Для покращення акустичного комфорту на сцені та умов звукозапису – застосувати пересувні акустичні екрани, встановлюючи їх при потребі між групами інструментів (переважно для мідних духових) і позаду оркестрів при живому виконанні та при багатомікрофонних сесіях звукозапису. Приклад акустичної корекції подано в Додатку до розділу 3 (св. 3.6, 3.7).

При оцінюванні звучання на основі записів, зроблених за допомогою імітатора людської голови, відмічено, що найкраще сприйняття музичного матеріалу відбувається в середині партеру та у перших рядах балкону.

3.4.2. Зал Львівської опери

Особливість звучання оркестру Львівської опери полягає у тому, що воно зазвичай відбувається із оркестрової ями, хоча й бувають сценічні концерти. Склад оркестру зумовлений репертуаром, тому залишається сталим та може змінюватись незначною мірою, залежно від вистав. Звучання із оркестрової ями має свої особливості й насамперед несе акомпонуючу функцію в таких жанрах як опера та оперета. Акустичні параметри визначають умови, в яких звучить оркестр, що регламентується вимогами до театрів, де значна частина уваги приділяється розбірливості мови.

Оцінки звучання та запису відображені у діаграмах 3.1.3, 3.1.4, 3.1.5. Вони показали, що існують суттєві розбіжності у звучанні оркестру при розміщенні його в оркестровій ямі чи на сцені.

При розміщенні оркестру в оркестровій ямі такий показник як *просторовість*, отримав дещо занижену оцінку, що пов'язано з внутрішнім інтер'єром самого залу і підтверджується об'єктивними акустичними параметрами. Розміщення оркестру в ямі не дає достатньо відчутної *ширини* звучання в горизонтальному плані та просторової локалізації музичних інструментів, особливо в глибину, що пов'язано з *бінауральними* властивостями людського слуху. *Тембр* звучання отримав високу оцінку, що видно із таких показників як *теплота, м'якість, світлість, яскравість*, що характеризують спектральний склад в області низьких і високих частот. *Чистота* і *прозорість* дають реалістичне сприйняття кожного із компонентів звукової картини. У таких жанрах як опера та оперета крім таких фактурних елементів, як мелодична та гармонічна лінії, також присутня чіткість дикції, розбірливість текстового матеріалу. Визначеність музичних інструментів, присутніх на момент звучання, чітка та відчувається навіть у всіх найвіддаленіших місцях залу. Натомість розбірливість текстового матеріалу та мовних елементів з віддаленням від сцени дещо знижується, особливо на бічних ярусах балконів. Це підтверджується оцінками, даними експертами.

Гучність та *динамічний діапазон* під час звучання музики отримали високу оцінку. Тут відчувається ідеальне поєднання складу оркестру та розмірів акустичного середовища. Щодо показника *близькості та присутності*, то він дещо занижений за рахунок розміщення оркестру в оркестровій ямі. *Текстура* звучання музичного матеріалу завжди м'яка, тепла. *Звуковий баланс* завжди присутній. У цьому немала заслуга диригентів та їх вміння збалансувати оркестр під час сольної гри та під час акомпанементу.

Слуховий контроль (підтримка, взаємодія) у звучанні, тобто чутність себе й інших учасників оркестру, що оцінювався музикантами оркестру, отримав хорошу оцінку. Це можна пояснити створенням сприятливого

звукового середовища всередині оркестрової ями. Під час проходження концертів відчутних *шумів* не спостерігалось, крім традиційного шуму публіки.

При розміщенні оркестру на сцені оцінка звучання за критеріями показала нижчі результати, ніж при розміщенні в ямі. На формування звучання оркестру має вплив форма, розміри, об'єм та інтер'єр сцени. В силу достатньо відчутної глибини та висоти перекриття над сценою, інструменти, що розміщуються на задній та частково середній лініях, не достатньо «присутні» в оркестровій фактурі. Особливо це стосується тих інструментів, що мають широку діаграму напрямленості в області середніх та високих частот і помірну силу звучання. Наприклад, арфа чи дерев'яні духові. Менше це відчутно в мідних духових. Взагалі звук, сформований оркестром, крім поширення у напрямку залу, розпорошується в сценічному просторі та поглинається інтер'єром сцени, таким як бічні та задня куліси. Усі ці явища помітно впливають на звучання оркестру. Такі показники оцінки звучання, як: *просторовість, тембр, чистота, прозорість, близькість, текстура, звуковий баланс, підтримка* отримали нижчі результати від оцінок звучання в оркестровій ямі. Особливо це відчувається у тембральних характеристиках, де звучання може бути тьмяним, матовим при звучанні одночасно інструментів середньої та задньої ліній. Розбірливість гармонічної фактури також є недостатньою за рахунок тембрального маскування інструментів заднього плану. Розміщення на сцені оркестру відобразилось також на показникові сценічного комфорту (*підтримка, взаємодія)*. Музиканти недостатньо контролюють звучання між собою на віддалених місцях, а це має безпосередній вплив на злагодженість в ансамблі. *Текстура* звучання дещо матова. *Гучність*, *динамічний діапазон*, *ширина* та *шуми* помітно не відрізняються від попередніх оцінок. Загалом звучання оркестру зі сцени отримало нижчу оцінку, ніж звучання із оркестрової ями.

При прослуховуванні записів оцінки, в основному, співпали з оцінкою живого виконання, за винятком таких, як *стереофонічний ефект та звукові плани, близькість та присутність*, які були покращені за рахунок коректно проведеної мікрофонної сесії звукозапису. На жаль таких записів дуже мало. В основному, записи, які проводила Львівська телерадіокомпанія, не стереофонічні, що пов'язано зі специфікою її ефірного мовлення.

При багатомікрофонній сесії пару флангових мікрофонів доречно розташувати над оркестровою ямою, так, щоб діаграми напрямленості охоплювали максимально групи інструментів. Додатково в самій оркестровій ямі потрібно встановити мікрофони на окремі групи інструментів. Окрему пару доцільно скерувати безпосередньо на сцену для запису солістів.

При розташуванні оркестру на сцені флангові мікрофони слід поміщати перед оркестром. Групи інструментів переозвучуються окремими мікрофонами. В силу більш розширеного розміщення оркестру доцільно встановити додаткові акцент-мікрофони на інструменти, більш віддалені від передньої лінії (арфа, ударні, контрабаси) з відповідною часовою корекцією.

При стереозаписі однією сумісною парою мікрофони доречно розмістити позаду диригента на висоті не менше 2,5 м. Як показало прослуховування, найкращі результати були досягнуті при багатомікрофонній сесії звукозапису.

У деяких випадках для покращення відчуття *просторовості* можна застосувати штучну художню обробку звукового матеріалу за допомогою цифрових ефект-процесорів. Потрібно пам'ятати, що цей прийом призведе до порушення передачі реальної акустичної атмосфери середовища та змінить сприйняття просторового звукового образу, який не відповідає реальній картині. Приклад багатомікрофонної сесії звукозапису подано на світлині 3.2 в Додатку до розділу 3.

При оцінюванні звучання на основі записів, зроблених за допомогою імітатора людської голови, зазначено, що найкраще сприйняття музичного матеріалу відбувається з 5-го ряду та до середини партеру на місцях між двома проходами та у директорській лоджії. При поступовому віддалені від сцени показники сприйняття погіршуються, особливо на верхніх, віддалених ярусах балконів.

Загалом, звучання оркестрової музики у Львівській опері відповідає стандартам звучання класичної музики при розміщенні оркестру в оркестровій ямі, про що свідчать результати суб'єктивного оцінювання та об'єктивні акустичні параметри. Майже непомітний брак просторовості сповна компенсується іншими показниками, що виводить звучання оркестрів у Львівській опері на перше місце, порівняно з іншими досліджуваними залами.

Для покращання звучання зі сцени оркестр доцільно розташувати на авансцені, а сценічний простір відокремити кулісою.

3.4.3. Будинок органної та камерної музики

Звучання оркестрової музики в даному залі отримало неоднозначну оцінку, про що свідчать результати суб'єктивного оцінювання та об'єктивні акустичні параметри. Наявність відносно великого часу реверберації значно вплинуло на всі інші об’єктивні акустичні показники та відобразилось на суб’єктивному сприйнятті музичного матеріалу. Такий час реверберації добре підходить для звучання *органної музики*, але не завжди – для симфонічної та камерної. Розміри та форма залу і сцени, який є, фактично, костелом, впливають на звучання оркестрів таким чином, що навіть при незначному віддаленні від сцени просторовий звуковий образ втрачає відчуття ширини, перетворюючись в точкове джерело звуку. Оцінки звучання відображені у діаграмах 3.1.6, 3.1.7.

Відчуття *просторовості* є надмірним. Це, своєю чергою, впливає на *тембр* звучання, який отримав значну колоризацію через надмірну інтерференцію звукових хвиль у середньому та верхньому частотному діапазонах. Таке дифузне поле зумовлене мармуровими стінами та підлогою. Такі компоненти тембру, як *теплота, м'якість* та *світлість, яскравість* нереалістичні та в деякій мірі спотворені. *Чистота, прозорість, розбірливість* занижена у сприйнятті, тому розбірливість мелодичної та гармонічної ліній та визначеність музичних інструментів погана. *Гучність, динамічний діапазон* значно залежить від складу оркестрів. Великі склади, на думку експертів, не підходять для звучання в цьому залі. Натомість камерні оркестри та ансамблі можуть звучати непогано. Це також значною мірою залежить від репертуару та вміння дириґента збалансувати оркестр та вибрати відповідну гучність звучання. Відчуття близькості (*близькість, присутність)* можливе тільки в перших рядах і значно зменшується з віддаленням від сцени. *Текстура* звучання досить м'яка при звучанні сакральної музики та стає неоднорідною, каламутною, невиразною у швидкій, насиченій музиці. *Звуковий баланс* повною мірою залежать від дириґента та музикантів. У *підтримці, взаємодії звучання* відмічено недостатній слуховий контроль між музикантами оркестру в силу розміщення сцени та за рахунок сценічного оточення. Для покращання акустичних умов на сцені передбачено використання переставних акустичних екранів. Їх функцією є розпорошення звуку та роль куліс для виконавців [140]. На жаль, у залі присутні *шумові перешкоди*, що виражаються в резонуванні віконних рам на деяких частотах. Причому вони можуть збуджуватись також звуковими коливаннями, що приходять іззовні від руху транспорту.

Усі ці недоліки повною мірою відчуваються при прослуховуванні записів, зробленими двомікрофонними стереосистемами звукозапису. Найкращі результати можливі тільки при безпосередній близькості

розташування мікрофонної системи до сцени та використанні напрямлених мікрофонів, що в деякій мірі збільшить розбірливість та зменшить вплив залу на звукозапис. При віддалені від сцени, значною мірою позначиться вплив залу на записи, зросте відчуття надмірної просторовості через зменшення відносних рівнів та часового розриву між прямим звуком та першими відбиттями.

Негативний вплив залу деякою мірою можна компенсувати за рахунок багатомікрофонної сесії запису з використанням напрямлених мікрофонів, що було відзначено експертами при прослуховуванні записів, зроблених на фестивалі сакральної музики який проходив в цьому залі. Запис був виконаний за допомогою напрямлених мікрофонів, потреково, з подальшим зведенням музичного матеріалу на студії звукозапису. Мікрофони встановлювались безпосередньо для груп інструментів на відповідній висоті (трохи ближче до інструментів, ніж рекомендовано) для зменшення впливу надмірного дифузного поля. Для передачі акустичної атмосфери звучання та створення просторового звукового образу було використано додаткову пару мікрофонів, встановлених безпосередньо в залі на значній відстані від сцени (приблизно половина залу). На поданих до прослуховування записах штучна художня обробка музичного матеріалу не застосовувалась (динамічна обробка, просторові ефект процесори та частотна корекція).

Приклад багатомікрофонної сесії звукозапису подано на світлині 3.3 в Додатку до розділу 3.

Наприкінці 1960-х років, під час проектних робіт на замовлення Львівської консерваторії по пристосуванню костелу до концертного залу, мав місце проект встановлення акустичного розпорошувача звуку під верхнім склепінням уздовж головної нефи костелу у вигляді ламаного софіту. Ця концепція використання штучного розпорошувача не була реалізована з погляду глибокої інтервенції в архітектуру сакральних споруд,

а також поглинаючої здатності розпорошувача в області високих частот, що особливо негативно позначилось би на звучанні органної музики [140].

На даний час ідея використання розпорошувача може знову бути актуальною з погляду новітніх інноваційних технологій у сфері акустики. Зокрема, можна автоматизувати встановлення розпорошувача та застосовувати, за потреби, у відповідності до звучання музичних творів.

При оцінці звучання на основі записів, зроблених за допомогою імітатора людської голови, відмічено, що найкраще сприйняття музичного матеріалу відбувається у ближніх до сцени рядах. Орієнтовно до 5-го ряду.

3.4.4. Зал театру імені Марії Заньковецької

Особливість у звучанні оркестру в даному концертному залі деякою мірою подібна до звучання у Львівській опері. Та все ж деяка різниця в об’єктивних акустичних параметрах, відмінності в складі оркестру і репертуарного спрямування створюють певну різницю. Театр має свій оркестр. Під час драматичних вистав та оперет оркестр зазвичай звучить з оркестрової ями. Також бувають сценічні концерти, де оркестр виступає з сольною програмою або акомпанує солістам. Склад оркестру сталий і може змінюватись у незначній мірі, в залежності від вимог вистав та гастролюючих артистів. Звучання з оркестрової ями має свої особливості, насамперед, забезпечує акомпануючу функцію в таких жанрах, як вистава та оперета. Акустичні параметри вказують на умови, в яких звучить оркестр, що регламентується вимогами до театрів, де значна частина уваги приділяється розбірливості мови. Оцінки звучання та запису відображені у діаграмах 3.1.8, 3.1.9, 3.1.10.

При звучанні оркестру з оркестрової ями відчуття *просторовості* комфортне та не є надмірним. Видима *ширина* джерела звуку прийнятна від ближніх рядів до середини залу і в міру віддаленості від сцени та оркестрової ями має тенденцію до звуження. Середовище концертного залу

максимально сприятливо впливає на *тембр* та не викликає спотворень у всьому частотному діапазоні. Такі компоненти тембру як *теплота, м'якість*, *світлість, яскравість* надають звучанню реалістичних відтінків. *Чистота, прозорість, розбірливість* достатні, що зумовлює розбірливість мелодичної та гармонічної ліній, партій музичних інструментів. *Гучність, динамічний діапазон* при звучанні оркестру театру в межах норми. Відчуття *близькості*, *присутності* не зникає майже в усіх місцях завдяки формі залу, яка формує сприятливу акустичну атмосферу. Т*екстура* звучання м'яка при звучанні навіть швидкої, фактурно насиченої музики. *Звуковий баланс* між солістом та оркестром та між групами витриманий. Розміри сцени та оркестрової ями дають непоганий слуховий контроль між музикантами оркестру (*підтримка, взаємодія звучання*). В залі присутні незначні *шумові перешкоди*, які суттєво не впливають на звучання музики.

Звучання оркестру зі сцени при аналізі результатів оцінки не становить суттєвої різниці в порівнянні із звучанням з оркестрової ями. Це можна пояснити меншими розмірами сцени та залу чим у Львівській опері. Сцена має меншу глибину, ніж в оперному театрі, але її інтер'єр не викликає великого звукопоглинання. Щодо чутності себе та інших музикантів оркестру (*підтримка звучання, акустичний комфорт*) то, за їхніми висловлюваннями, відчуття комфорту у звучанні є кращим в оркестровій ямі, ніж на сцені. Розбірливість мови добра в партері та дещо погіршується на бічних ярусах балконів.

Записи, зроблені за допомогою двомікрофонних стереосистем, дають непогані результати. Це підтвердила їх оцінка. При записі на сцені або в оркестровій ямі техніка мікрофонного прийому передбачає правильне місце встановлення мікрофонів та вибір стереопари для звукозапису. Непоганий результат дає встановлення мікрофонної пари позаду диригента на сцені, на висоті 2,5 м, та перед оркестровою ямою позаду диригента.

При багатомікрофонній сесії пару флангових мікрофонів доречно розташувати над оркестровою ямою так, щоб їх діаграми напрямленості максимально охоплювали групи інструментів. Додатково в самій оркестровій ямі потрібно встановити мікрофони на окремі групи інструментів.

При розташуванні оркестру на сцені флангові мікрофони слід помістити перед оркестром. Групи інструментів переозвучуються окремими мікрофонами. В силу більш розширеного розміщення оркестру доцільно встановити додаткові акцент-мікрофони на віддаленіші від передньої лінії інструменти (арфа, ударні, контрабаси), з відповідною часовою корекцією. В окремих випадках деякі компанії, що озвучували та записували концерти, використовували індивідуальні інструментальні мікрофони (Комора, м. Київ).

Іноді доцільно встановити додаткову стереопару на значній відстані від сцени з корегуванням напрямленості мікрофонів для запису просторового дифузного поля, створеного звучанням оркестру, з подальшим використанням цього матеріалу для мікшування з основним. Це вплине на кінцевий результат формування просторового звукового образу.

Як показало прослуховування, найкращих результатів було досягнуто при багатомікрофонній сесії звукозапису.

Для покращення відчуття *просторовості* можливо застосувати штучну художню обробку звукового матеріалу за допомогою цифрового ефект-процесора. Потрібно пам’ятати, що цей прийом призведе до порушення передачі реальної акустичної картини середовища та змінить сприйняття просторового звукового образу, який не відповідає реальній картині. Приклад багатомікрофонної сесії звукозапису подано на світлині 3.4 в Додатку до розділу 3.

При оцінюванні звучання на основі записів, зроблених за допомогою імітатора людської голови, відмічено, що найкраще сприйняття музичного

матеріалу відбувається в партері та у ближніх до сцени рядах балкону. На віддалених ярусах балконів сприйняття погіршується.

3.4.5. Великий зал Львівської національної музичної академії імені М. В. Лисенка

Цей концертний зал трохи нагадує зменшений варіант залу Львівської філармонії. Колективи, які тут звучать, різноманітні – від камерних ансамблів до камерних оркестрів. Це зумовлено специфікою навчального закладу. Оцінки звучання та запису відображені у діаграмах 3.1.11, 3.1.12.

Такий показник, як *просторовість* отримав невисоку оцінку як у живому звучанні, так і на записах, що пояснюється невеликим об’ємом залу. Видима *ширина* також отримала занижену оцінку через його форми. На записах *стереофонічний ефект* також має низький показник за рахунок тісного розміщення оркестру та використання двомікрофонних стереосистем звукозапису. Цей показник можна покращити шляхом застосування багатомікрофонної сесії. На *темброві* показники мало впливає дифузне поле залу. *Чистота, прозорість, розбірливість* добра. *Гучність, динамічний діапазон* залежить від складу оркестрів. Ці параметри перебувають у межах позитивного сприйняття. *Близькість, присутність* відчувається тільки в перших рядах та із збільшенням відстані знижується за рахунок малої сцени. *Текстура* звучання, в основному, м’яка. *Звуковий баланс* цілком залежать від диригента, музикантів та творів, які вони виконують. Малі розміри сцени забезпечують достатній слуховий контроль між музикантами оркестру (*підтримка*, *взаємодія*). В залі присутні *шумові перешкоди*, що виражаються в резонуванні віконних рам на деяких частотах.

У даному залі використовують, в основному, декілька двомікрофонних стереосистем, які розміщують на певній відстані від джерела, що дає змогу одразу записати весь музичний матеріал, використовуючи акустику залу. В окремих випадках встановлюються

додаткові мікрофони на окремі інструменти. На записах, вибраних для прослуховування, експертами відзначено хорошу *прозорість* та непогані *темброві* компоненти.

При великих складах оркестрів слід застосовувати багатомікрофонну сесію звукозапису. При багатомікрофонній сесії звукозапису мікрофони слід встановлювати на групи інструментів. Додатково варто встановити флангові мікрофони та мікрофони посеред залу для передачі його акустичних властивостей. Приклад багатомікрофонної сесії звукозапису подано на світлині 3.5 в Додатку до розділу 3.

При оцінці звучання на основі записів, зроблених за допомогою імітатора людської голови, відмічено, що хороше сприйняття музичного матеріалу має місце в усьому залі.

Висновки до III розділу

Оцінювання виконання наживо у вибраних залах Львова проводилось серед звукорежисерів, композиторів, диригентів, музикантів, музичних критиків та регулярних відвідувачів концертів і вистав. Для записів експертна оцінка проводилась за участю музикантів, композиторів, звукорежисерів, студентів музичної академії. Для кожного концертного залу результати опитувань було зображено діаграмою. Додаткове усне опитування любителів класичної музики (непрофесіоналів) показало меншу точність їх оцінок. Тому вони до уваги не брались.

Порівняння живого звучання оркестрів та записів у вибраних залах здійснено на однакових творах («Чотири пори року» А. Вівальді, Увертюра до опери «Кармен» Ж. Бізе.). Для порівняння звучання архівних записів оркестрів були відібрані зразки різних років. Робота з архівними записами Львівської телерадіокомпанії показала, що необхідним є більш глибоке вивчення та систематизація записів, особливо зроблених до 80-х років. Через обмежений термін дії носіїв вони потребують реставрації та перезапису на

сучасні носії. Щодо записів 90-х років можна відмітити покращення показників звучання, що пов’язано з появою цифрового запису. На жаль, через технічні умови ефірного мовлення записи для архіву Львівської телерадіокомпанії ведуться в монофонічному режимі, через що, при прослуховуванні не формується відчуття просторового звукового образу. Тому останні записи помітно поступаються якістю записам сучасних львівських рекордингових студій.

Продемонстровано, що суб’єктивна оцінка повністю підтверджується об’єктивними акустичними параметрами. Наприклад, просторовість визначається тим, як у слухача асоціюється сприйняття музичного образу з простором, де звучить музика; обгортуваність асоціюється із зануренням в реверберaційне звукове поле; інтимність визначає для слухача віртуальний простір, в якому він слухає музику; баланс – це оцінка гучності окремих інструментів відносно гучності всього оркестру; текстура – параметр, який пов’язаний з суб’єктивним відчуттям перших дискретних відбиттів, різницею між приходами перших і подальших відбиттів та співвідношенням їх амплітуд. Суб’єктивне оцінювання в комплексі з об’єктивними акустичними параметрами використовується для здійснення повної оцінки акустичних характеристик концертного залу.

На основі отриманих суб’єктивних естетичних оцінок звучання оркестрів у львівських концертних залах подано рекомендації щодо врахування специфіки та відповідної корекції звукозаписів у цих залах, а також можливої конструктивної (акустичної) корекції самих залів.

Звучання оркестрів наживо в досліджуваних залах суттєво відрізняється між собою. Кожний концертний зал має свою індивідуальну та неповторну акустику. Звучання симфонічних оркестрів в концертних залах Львівської філармонії та оперного театру найкраще відповідає стандартам звучання класичної музики. Камерні оркестри найкраще звучать у Львівській філармонії, та, певною мірою, в Будинку органної та камерної

музики. Камерні ансамблі найкраще підходять для концертного залу Львівської музичної академії та Львівської філармонії.

Найвищу оцінку отримало звучання камерних оркестрів у Львівській філармонії. Цьому сприяє акустична атмосфера залу та відповідний склад оркестру.

Натомість звучання у записах отримало дещо інакшу оцінку. Результати оцінювання показали, що успіх був досягнутий правильним підбором мікрофонної сесії для звукозапису та місцем встановлення мікрофонів (техніка мікрофонного прийому), розташуванням музикантів оркестру та остаточним зведенням музичного матеріалу. Найкращі результати були досягнуті при використанні багатомікрофонної сесії та потрековому записі з подальшим зведенням, де запис здійснювався шляхом встановлення мікрофонів безпосередньо на групу інструментів та окремо для солістів. З метою підкреслення звучання окремих інструментів, особливо у великих складах, були застосовані акцент-мікрофони.

ВИСНОВКИ

Ще творцям перших амфітеатрів було досконало відомо про вплив характеристик приміщення на якість відтворення та сприйняття звуку. Музично-виконавська практика виявила величезну роль акустичних властивостей приміщення в процесі формування слухового образу, а постійний потяг до вдосконалення втілився в архітектурних формах, які повинні були забезпечити найкращий контакт слухача з виконавцем.

Науково-технічний прогрес сприяє активному впровадженню новітніх технологій у сферу музики, які, в свою чергу, докорінно міняють вимоги до якісної сторони звукової картини. Тому на даному етапі постає проблема встановлення нових критеріїв оцінки художньої якості аудіоматеріалу. Акустичні характеристики концертних залів прийнято оцінювати за певними параметрами, які поділяються на об’єктивні та суб’єктивні. Об’єктивні параметри визначаються законами акустики (зокрема, акустики приміщень), а суб’єктивні — психофізичними законами сприйняття звуку людиною.

Проаналізувавши сучасний стан речей і підходи щодо оцінювання якості звучання аудіовізуального продукту можемо сказати, що на сьогодні немає єдиної загальної системи оцінювання якості звукового матеріалу. Дослідження критеріїв оцінки художньої якості звукового матеріалу, як одного із елементів естетичної мови, вимагає комплексного міждисциплінарного підходу. А саме: мистецтвознавства, музикознавства, акустики, психоакустики, звукорежисури, цифрової обробки звукових сигналів. Вміння професійно оцінити якість звучання звукового матеріалу залишається актуальним. Оцінка повинна бути об’єктивною та однозначною і включати в себе як естетичний, так і технічний аспекти.

Для вирішення цієї науково-прикладної задачі в дисертації був застосований єдиний підхід, що об’єднав дослідження особливостей живого

звучання та звукозапису оркестрів в концертних залах на основі явища суб’єктивного сприйняття музичного матеріалу.

Відтак у роботі були поставлені та вирішені наступні завдання:

1. Сформульовано базові принципи акустики концертних залів.

Реальний звуковий сигнал є коливанням дуже складної форми. Воно характеризується частотою, амплітудою, періодом коливань, довжиною хвилі, а також тиском, швидкістю і спектром (що визначає тембр звуку). Відчуття, які викликають звукові хвилі в психіці людини (суб’єктивні характеристики звуку) прямо залежать від її фізичних параметрів.

При звучанні оркестру в замкнутому приміщенні відбувається складний процес формування звукового поля за рахунок відбиття звукових хвиль від стін, стелі, підлоги, крісел тощо. Для розрахунку структури звукових полів в закритих приміщеннях користуються трьома різними підходами, які ґрунтуються на статистичній, геометричній і хвильовій теоріях.

Статистична теорія припускає, що музичні та мовні сигнали є квазівипадковими. Статистичний метод є приблизним і використовується тільки для визначених частот і певних зон в приміщенні (наприклад, його не можна використовувати для аналізу звукового поля поблизу сцени або поблизу сильно заглушених поверхонь). Геометрична теорія бере за основу перші дискретні відбиття, які формують у слухача відчуття простору концертного залу тощо. Геометрична теорія добре працює у високочастотному діапазоні. Хвильова теорія розглядає приміщення як резонатор і є найбільш точним, хоча і найбільш трудомістким методом розрахунку звукових полів.

2. Визначено об’єктивні параметри оцінювання акустики концертних залів. На формування просторового звукового образу в процесі звучання оркестру в концертному залі безпосередньо впливають його акустичні властивості. Концертні зали характеризуються, передусім, своїми розмірами

(об’єм, площа сцени, кількість місць), формою (прямокутна, підковоподібна) та пов’язаними з ними об’єктивними акустичними параметрами. Основними об’єктивними параметрами є: час реверберації, структура резонансних частот, час і напрямок приходу ранніх відбиттів. Вони отримуються зі статистичної, геометричної та хвильової теорій оцінки акустичних властивостей концертних залів.

Львівські концертні зали мають різні архітектурні характеристики – форму, інтер’єр, художнє оздоблення, будівельні матеріали. Є також відмінності в конструктивних виконаннях сидячих місць, підлоги, сцени. Усе це має суттєвий вплив на акустику в результаті чого концертні зали відрізняються за звучанням. В деяких залах були проведені ремонти (філармонія, опера, театр ім. М. Заньковецької), що вплинуло на їхню акустику. Вимірявши, обчисливши та проаналізувавши об’єктивні акустичні характеристики кожного із досліджуваних залів можна констатувати, що не всі показники відповідають рекомендованим величинам.

3. Сформовано критерії суб’єктивної оцінки звучання оркестрів наживо і в записі та розроблено анкету для опитування експертів.

Як продемонстрували дослідження, об’єктивні параметри не дають достатньої характеристики якісним показникам концертних залів. Під дією об’єктивних параметрів на слухові органи людини формуються відчуття, які називають суб’єктивною оцінкою якості звучання (просторовість, гучність, тембр і т. д.).

Суб’єктивна оцінка акустики концертних залів вимагає вибору методу, критеріїв оцінки та встановлення їх зв’язку з об’єктивними параметрами.

Для суб’єктивної оцінки акустики концертних залів та якості звучання в них оркестрів наживо пропонуються методи: 1) метод стереофонічного порівняння; 2) метод незалежного прослуховування і прийняття рішення групою експертів; 3) метод анкетування та інтерв’ювання. Серед критеріїв:

просторове враження, стереофонічний ефект, прозорість, звуковий (музичний) баланс, тембр, перешкоди.

Для оцінки записів оркестрів використовують тільки суб'єктивне оцінювання. Для оцінювання живого звучання та записів за суб'єктивними критеріями автором дисертації розроблена спеціальна універсальна анкета, що суттєво полегшило проведення опитування.

Суб'єктивна оцінка разом з об'єктивними параметрами дають повну характеристику звучання оркестру в концертному залі. Об'єктивні параметри та суб'єктивна оцінка якості звучання корелюються (пов'язані) між собою.

4. Окреслено особливості звукозапису в концертних залах. Розглянуто різні типи мікрофонів та мікрофонних систем та обґрунтовано вибір тієї чи іншої системи для конкретної сесії звукозапису.

Важливою вимогою при записі оркестрів є правильно вибрані типи мікрофонів, мікрофонних систем та місця для встановлення мікрофонів. Через розвиток технологій комп'ютерної обробки звуку з'явилися принципово нові підходи в моделюванні акустики замкнутих приміщень, визначенні їх параметрів та створенні моделей звукового образу. Загалом такі способи моделювання отримали назву «ауралізація».

Місця для встановлення мікрофонів припадають на точки, де баланс оркестру найкращий. Переважно вони не співпадають з найкращими місцями для слухачів, а повинні бути правильно вибрані звукорежисером.

Результати оцінювання записів, виконаних у вибраних львівських залах показали, що успіх був досягнутий правильним підбором мікрофонної сесії для звукозапису та місцем встановлення мікрофонів (техніка мікрофонного прийому), розташуванням музикантів оркестру та остаточним зведенням музичного матеріалу. Найкращі результати були досягнуті при використанні багатомікрофонної сесії та потрековому записі з подальшим зведенням, де запис здійснювався шляхом встановлення мікрофонів

безпосередньо на групу інструментів та окремо для солістів. З метою підкреслення звучання окремих інструментів, особливо у великих складах, були застосовані акцент-мікрофони. Для більш правдивої передачі акустичної атмосфери концертного залу використовувалась додаткова стереопара мікрофонів, встановлена безпосередньо в концертному залі.

5. Проведено оцінювання звучання оркестрів у львівських концертних залах в живому виконанні та в записі. Вибрано п’ять концертних залів (концертний зал імені С. Людкевича Львівської національної філармонії, концертний зал Львівського національного академічного театру опери та балету імені Соломії Крушельницької, зал Будинку органної та камерної музики, концертний зал Національного академічного українського драматичного театру імені Марії Заньковецької, великий зал Львівської національної музичної академії імені М. В. Лисенка). Оцінка живого виконання проводилась серед звукорежисерів, композиторів, диригентів, музикантів, музичних критиків та регулярних відвідувачів концертів та вистав. Для записів експертна оцінка проводилась за участю музикантів, композиторів, звукорежисерів, студентів музичної академії. Для кожного концертного залу результати опитувань зображено діаграмами.

Естетична оцінка звучання музики базується на суб’єктивному сприйнятті музичного матеріалу людиною на відміну від об’єктивних акустичних параметрів, які характеризують акустичні властивості замкнутого середовища. Суб’єктивне оцінювання звучання оркестрів показує, що критерії оцінки перебувають в тісному взаємозв’язку між собою. Для сучасних концертних залів хороше звучання музики повинне забезпечуватись виконанням всіх суб’єктивних критеріїв.

Звучання оркестрів наживо в досліджуваних залах суттєво відрізняється між собою. Кожний концертний зал має свою індивідуальну та неповторну акустику. Звучання симфонічних оркестрів в концертних залах Львівської філармонії та оперного театру найкраще відповідає стандартам

звучання класичної музики. Камерні оркестри найкраще звучать у Львівській філармонії, та, певною мірою, в Будинку органної та камерної музики. Камерні ансамблі найкраще підходять для концертного залу Львівської музичної академії та Львівської філармонії. Найвищу оцінку отримало звучання камерних оркестрів у Львівській філармонії. Цьому сприяє акустична атмосфера залу та відповідний склад оркестру.

Порівняння живого звучання оркестрів та записів у вибраних залах здійснено на однакових творах («Чотири пори року» А. Вівальді, Увертюра до опери «Кармен» Ж. Бізе.). Для порівняння звучання архівних записів оркестрів були відібрані зразки різних років. Робота з архівними записами Львівської телерадіокомпанії показала, що необхідним є більш глибоке вивчення та систематизація записів, особливо зроблених до 80-х років. Через обмежений термін дії носіїв вони потребують реставрації та перезапису на сучасні носії. Щодо записів 90-х років можна відмітити покращення показників звучання, що пов’язано з появою цифрового запису. На жаль, через технічні умови ефірного мовлення записи для архіву Львівської телерадіокомпанії ведуться в монофонічному режимі, через що, при прослуховуванні не формується відчуття просторового звукового образу. Тому останні записи помітно поступаються якістю записам сучасних львівських рекордингових студій.

6. Порівняно результати суб’єктивної естетичної оцінки з об’єктивними акустичними характеристиками. Оскільки суб’єктивне сприйняття музичного матеріалу тісно пов’язане з об’єктивними акустичними властивостями, були встановлені кореляти між суб’єктивними критеріями оцінки та об’єктивними параметрами залів. Наприклад, просторовість визначається тим, як у слухача асоціюється сприйняття музичного образу з простором, де звучить музика; обгортуваність асоціюється із зануренням в реверберaційне звукове поле; інтимність визначає для слухача віртуальний простір, в якому він слухає музику; баланс

– це оцінка гучності окремих інструментів відносно гучності всього оркестру; текстура – параметр, який пов’язаний з суб’єктивним відчуттям перших дискретних відбиттів, різницею між приходами перших і подальших відбиттів та співвідношенням їх амплітуд.

Суб’єктивне оцінювання акустичної якості концертних залів в повністю підтверджується об’єктивними акустичними параметрами, тому його застосування можна вважати виправданим. Особливо точне підтвердження воно отримало серед фахівців. Усне опитування, проведене серед любителів-непрофесіоналів симфонічної музики, показало однобічність їх оцінок. Вони варіюються в межах «добре» і «відмінно», тому є менш точними.

7. За результатами отриманої естетичної оцінки подано рекомендації щодо корекції акустики вибраних залів та процесу звукозапису в них.

На основі отриманих суб’єктивних естетичних оцінок звучання оркестрів у львівських концертних залах подано рекомендації щодо врахування специфіки та відповідної корекції звукозаписів у цих залах, а також можливої конструктивної (акустичної) корекції самих залів. Зокрема:

• запропоновано використання звукопоглинаючих панелей, акустичних розпорошувачів, роздільних щитів для покращення умов прослуховування, виконання та запису музики;

• розроблені рекомендації щодо використання мікрофонних сесій для досягнення високих результатів при звукозапису;

• встановлено, що найкращі результати отримано при використанні багатомікрофонної сесії звукозапису.

Проведені дослідження продемонстрували велику різницю у живому звучанні оркестів у різних залах та відмінності у способах звукозапису. Здобуті результати допоможуть у проведенні корекції акустики концертних залів та проведенні сесій звукозапису.

Наукове застосування результатів дослідження допоможе проведенню подальших досліджень в області психоакустики, акустики музичних інструментів, звукозапису та акустики концертних залів. Практичне використання досягнутих результатів дасть змогу значно покращити звучання оркестрів в концертних залах та умови акустичного комфорту для музикантів за рахунок проведення корекції акустики концертних залів та відповідних до акустичних умов сесій звукозапису.

Запропоновану в роботі методику можна застосувати при дослідженні інших концертних залів, вже збудованих або тих, що тільки проектуються. У випадку проектування слід застосовувати метод моделювання, при якому створюється просторовий звуковий образ звучання оркестру з подальшим його аналізом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алдошина И. А., Вологдин Э.И., Ефимов А.П. Электроакустика и звуковое вещание: учебное пособие для вузов. под. ред. пр. Ю. А. Ковалгина. ОАО, 2007. 872 с.
2. Алдошина И.А., Притс Р. Музыкальная акустика. СПб.: Композитор, 2006. 720 с.
3. Альтман Я. А. Слуховая система. Л.: Наука, 1990. 620 с.
4. Аурализация – виртуальный звуковой мир // Архив журнала "Звукорежиссер". 2000. №7.Часть 10.
5. Беньямин В. Произведение искусства в эпоху его технической воспроизводимости: избранные эссе. М.: Медиум, 1996. 240 с.
6. Борев Ю. Б. Эстетика: в 2 т. 5-е изд., доп. Смоленск, 1997. Т.1. 576 с.
7. Вахитов Ш. Я. Фадеев А. А, Щевьев Ю. П. Акустика: учебник для вузов. под. ред. пр. Ю.А. Ковалгина. М.: Горячая линия; Телеком, 2009. 660 ст.: ил.
8. Вахитов Я. Ш. Слух и речь. Л.: ЛИКИ, 1973. 124 с.
9. Вепринцев И. Принципы современной звукорежиссуры. Рождение звукового образа: (Художественные проблемы звукозаписи в экранных искусствах и на радио) / сост. Е.А.Авербах. М.: Искусство, 1985. С. 121–137.
10. Войтович О. Критерії оцінювання звучання оркестру в концертних залах. *Українська музика:* Науковий часопис ЛНМА ім. М. В. Лисенка. Львів, 2018. Ч. 3(29). С. 94–98.
11. Войтович О. Критерії оцінки художньої якості звукового матеріалу в епоху цифрових технологій. *Українська культура: минуле, сучасне, шляхи розвитку:* наукові записки Рівненського державного гуманітарного університету: Збірник наукових праць. Рівне: ППДМ, 2015. Вип. 21. С. 194–197.

12. Войтович О. Об’єктивні параметри та їх суб’єктивні кореляти в оцінці акустики концертних залів. *Наукові збірки Львівської національної музичної академії ім. М.В.Лисенка. Музикознавчі студії – 2015:* збірка статей. Львів, 2015. Вип. 36. С. 213–226.
13. Войтович О. Формування тембру оркестрів у концертних залах. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка.* Серія: Мистецтвознавство. Збірник наукових праць. Тернопіль, 2'2016. Вип. 35. С. 97–102.
14. Галкин Д. Исполнитель и звукорежиссер. *Советская музыка*. 1961. № 11. С. 98–102.
15. Гарбузов Н. А. Музыкальная акустика. Москва : Музгиз, 1954. 237 с.
16. Гинзбург Г. Р. Исполнитель и звукозапись: статьи, воспоминания, материалы. М.: Сов. композитор, 1984. С. 275–280.
17. Динов В. Г. Звуковая картина: Записки о звукорежиссуре. Санкт-Петербург: «Геликон Плюс», 2002. 368 с.
18. Динов В. Г. Микрофонный приём. Звукпарт, 2002. 133 с.
19. Дуков Е. Грампластинка в музыкальной жизни (социально-культурный аспект функционирования) Рождение звукового образа: (Художественные проблемы звукозаписи в экранных искусствах и на радио) / сост. Е.А.Авербах. М.: Искусство, 1985. С. 6–22.
20. Елисеева И. И. Юзбашев М. М. Общая теория статистики. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Финансы и статистика, 2004. 656 с.
21. Ефимов А. П., Никонов А. В., Сапожников М. А., Акустика. Справочник. Радио и связь, 1989. 336 с.
22. Зеленина А. Творческие направления в европейской звукорежиссуре. Ч. 1–2. *Звукорежиссер: профессиональные технологии звукового производства и вещания: информационно-технический журнал.* 2011. N.8. с. 39–43. N.9-10. с. 53–58.

URL: https://issuu.com/625net/docs/zvuk_08_2011, https://issuu.com/625net/docs/zvuk_09_2012 (дата звернення: 03. 12. 2017).

23. Капустин Ю. Массовые средства распространения музыки и некоторые проблемы современного исполнительства. *Вопросы теории и эстетики музыки:* сб. ст. Л.: Музыка, 1969. Вып. 9. С. 3–17.
24. Кінаш Р.І. Аналіз акустики театру імені Марії Заньковецької у Львові на підставі фотограмметричних та акустичних вимірювань. / Кінаш Р.І., Камісінський Т., Вачко А. *Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка"*. 2008. № 632. с. 202–206.
25. Коган Г. Свет и тени грамзаписи. Сов. Музыка, 1969. № 5. – С. 63.
26. Кожухарь В. И. Инструментоведение. Симфонический и духовой оркестры. Санкт-Петербург, 2009. 320 с.
27. Корыхалова Н. Звукозапись и проблемы музыкального исполнительства. *Музыкальное исполнительство:* сб. ст. М.: Музыка, 1973. Вып. 8. С. 102–137.
28. Кузнецов Л. А. Акустика музыкальных инструментов. Справочник. М., 1989. 368 с.
29. Меерзон Б. Я. Акустические основы звукорежиссуры. М., 2004. 205 с.
30. Нисбетт А. Применение микрофонов. М., «Искусство», 1981. 173 с.
31. Орлов Г. Художественная культура и технический прогресс. *Вопросы теории и эстетики музыки:* сб. ст. Л.: Музыка, 1969. Вып. 9. С. 18–49.
32. Орлова И. Предпосылки становления грамзаписи. Рождение звукового образа: (Художественные проблемы звукозаписи в экранных искусствах и на радио) / сост. Е.А.Авербах. М., 1985. С. 22–34.
33. Севашко А. В. Звукорежиссура и запись фонограмм. Профессиональное руководство. М.: Альтекс-А, 2004. 432 с.
34. Старикова В. В. Звукозапись музыкального произведения: к теории вопроса. *Веснік Беларускага дзяржаўнага універсітэта культуры і мастацтваў.* (Тэорыя і гісторыя мастацтва). 2009. № 2 (12). С. 72–77.

35. Субъективная оценка качества звукозаписи. Рекомендации OIRT. URL: http://www.hi-fi.ru/magazine/audio/professionalnaya-otsenka-kachestva-zvukozapisey-/ (дата звернення: 03. 12. 2017).
36. Уайт П. Творческая звукозапись. М.: Книга по требованию, 1989. 63 с.
37. Фуртвенглер В. Жизненная сила музыки. *Исполнительское искусство зарубежных стран.* М.: Музыка, 1966. Вып. 2. С. 172–174.
38. Шиффман Х. Р. Ощущение и восприятие. СПб.: Питер, 2003. 928 с.
39. Ahnert W., Schmidt W. Fundamentals to perform acoustical measurements. Appendix to EASERA. 53 p.
40. Arias A. Y. Acoustical parameters comparison of two halls: “Teatro Argentino de La Plata” and “Teatro Margarita Xirgu”. *Acoustics Instruments and Measurements*. June 2013. p. 1–27.
41. Ballou G. Handbook for Sound Engineers. Focal Press, 2015. 1784 p.
42. Barron M. Auditorium Acoustics and Architectural Design. Second Edition. Spon Press, London and New York, 2010. 481 p.
43. Barron M., Marshall A.H. Spatial impression due to early lateral reflections in concert halls. *J. Sound Vib*. 1981. V. 77. p. 211–232.
44. Barron M. Subjective study of British symphony concert halls. *Acustica*. 1988. V. 66. P. 1–14.
45. Barron M. The Subjective Effects of First Reflections in Concert Halls – the Need for Lateral Reflections. *Journal of Sound and Vibration.* 1971. V15. p. 475–494.
46. Bartlett B., Bartlett J. On-location recording techniques. Focal Press is an imprint of Butterworth–Heinemann, 1999. 278 p.
47. Bartlett B. Stereo Microphone Techniques / Bruce Bartlett. – © 2006. – 12p. – URL: https://www.deltamedia.com/resource/stereo_microphone_techniques.html (last reach: 03. 12. 2017).

48. Bartlett B., Bartlett J. Microphone-Technique Basics, and On-Location Recording of Classical Music. In Practical Recording Techniques. Second Edition. Boston: Focal Press, 1998. p. 116–124. p. 337–346.

49. Bartlett B., Bartlett J. Practical Recording Techniques. Fifth Edition. Focal Press, Burlington, Oxford, 2009. 633 p.

50. Bartlett B. Stereo Microphone Technique. db, 1979. V 13 no. 12. December. p. 34–46.

51. Bates Tom. Coincident or Near – Coincident Mic Placement Techniques. From DPA Microphones online publications With history and comments. 11p. URL: http://emerald.tufts.edu/programs/mma/mrap/ StereoMicTechniques.pdf (last reach: 03. 12. 2017).

52. Bauer B. Stereophonic Earphones and Binaural Loudspeakers. *Journal of the Audio Engineering Society.* 1961. V 9. no. 2. April. p. 148–151.

53. Bauer B. Uniphase Unidirectional Microphone. *Journal of the Acoustical Society of America.* 1941. V 13. p. 41.

54. Benade A. From Instrument to Ear in a Room: Direct or via Recording. *Journal of the Audio Engineering Society.* 1985. V 33 no. 4 p. 218-233.

55. Benade A. Fundamentals of Musical Acoustics. New York: Oxford University Press, 1976. 596 p.

56. Beranek L. Aspects of concert hall acoustics. Richard C. Heyser Memorial Lecture. Audio Engineering Society. 123rd. AES Convention. New York, NY USA, 27p. URL: http://www.aes.org/technical/heyser/downloads/ AES123heyser-Beranek.pdf (last reach: 03. 12. 2017).

57. Beranek L. Comparison between Subjective Judgments of Concert Halls' Quality and Objective Measurements of Acoustical Attributes. *Acoustical Physics.* 1995. Vol. 41. Issue 5. September. p. 620–629.

58. Beranek L. Concert and opera halls: how they sound. N. Y.: Acoustical Society of America, 1996. 643 p.

59. Beranek L. Concert Hall Acoustic. *JASA*. 1992. V. 92. p. 1–39.

60. Beranek L. Concert Hall Design: some considerations. URL: http://www.leoberanek.com/pages/concerthalldesign.pdf.
61. Beranek L. Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture. New York: Springer, 2003. 661 p.
62. Beranek L., Hidaka T. Objective and subjective evaluations of twenty- three opera houses in Europe. Japan and the Americas. *JASA*. 2000. V. 107. № 1 p. 368–383.
63. Beranek L. Music, Acoustics and Architecture. 2 ed. N. Y., 1996. 586 p.
64. Beranek L. Subjective Rank-Ordering and Acoustical Measurements for Fifty-Eight Concert Halls. *Acta Acustica united with Acustica*. 2003. V. 89. p. 494–508.
65. Billingsley M. A. Stereo Microphone for Contemporary Recording. Recording Engineer/Producer, November 1989.
66. Blankenship J., Fitzgerald R., Lane R. Comparison of objective and subjective observations on music rooms. *Acoust. Soc. Am.*, 1955. Vol. 27. p. 774–780.
67. Blauert J. Spatial Hearing. Cambridge, MA: MIT Press, 1983. p. 209–210.
68. Blauert J. Spatial Hearing: The Psychophysics of Human Sound Localization. Cambridge: MIT Press, MA, 1997. 495 p.
69. Blumlein A. D. British Patent Specification 394,325 (Directional Effect in Sound Systems). *Journal of the Audio Engineering Society*. 6, reprinted 1958. p. 91–98.
70. Bordelon C., Sherwood R. Electroacoustic device. *J. Acoust. Soc.* Am., 1982. V 71. p. 531.
71. Borwick J. Sound recording practice. / John Borwick and Association of Professional Recording Services. Oxford University Press, 2001. 616 p.
72. Bradley D., Wang L. Comparison of Measured and Computer-Modeled Objective Parameters for an Existing Coupled Volume Concert Hall. *Building Acoustics*. 2007. Vol. 14.·N. 2 p. 79–90.

73. Bradley J.S. Comparisons of IACC and LF Measurements in Halls. *J. Acous. Soc. Am*. 1993. Vol. 93. no. 4. 2283. Presented at the 125th meeting of the Acoustical Society of America.

74. Bradley J.S., Soulodre G. A. The influence of late arriving energy on spatial impression. Presented at the W.C. Sabine Symposium that proceeded the 127th meeting of the Acoustical Society of America, 1994.

75. Braünmuhl H., Weber W. Kapacitive Richtmikrophon. *Hochfrequenztechnic und Elektroakustic*. 1935. V 46 p. 187.

76. Cabot R. Sound Localization in Two and Four Channel Systems: A Comparison of Phantom Image Prediction Equations and Experimental Data. Preprint No. 1295 (J3), paper presented at the Audio Engineering Society 58th convention, November 4–7, 1977, New York.

77. Ceoen C. Comparative Stereophonic Listening Tests. *Journal of the Audio Engineering Society*. 1972. V 20. no. 1. p. 19–27.

78. Choi Y-J., Fricke F. R. Evaluation of the relative acoustic performance of two auditoria using measurements and auralization. *Acta Acustica Unitedwith Acustica*. 2005. Vol. 91. p. 1051–1062.

79. Cooper D., Shiga T. Discrete-Matrix Multichannel Sound. *Journal of the Audio Engineering Society*. 1972. V 20. no. 5. p. 346–360.

80. Cooper D. H. Problems with Shadowless Stereo Theory: Asymptotic Spectral Status. *Journal of the Audio Engineering Society*. 1987. V 35. no. 9. September. p. 638.

81. Cooper D., Bauck J. On Acoustical Specification of Natural Stereo Imaging. Preprint No. 1616 (X3), paper presented at the Audio Engineering Society 65th convention, February 25–28, 1980, London.

82. Cooper D. Prospects for Transaural Recording. *Journal of the Audio Engineering Society*. 1989. V 37. no. 1/2 p. 3–19.

83. Cooper D., Bauck J. Prospects for Transaural Recording. *Journal of the Audio Engineering Society*. 1989. V 37. no. 1–2. January – February. p. 9–19.

84. Cox T. J. Shield B. M. Audience questionnaire survey of the acoustics of the Royal Festival Hall, London, England. *Acustica united with Acta acustica*.1999. V 85. p. 547–559.

85. Cremer L., Muller H. Principles and applications of room acoustics. London: Applied Science Publishers, 1982. Vol. I, II.

86. Damaske P. Head-Related Two-Channel Stereophony with Loudspeaker Reproduction. *Journal of the Acoustical Society of America*. 1971. V 50. no. 4. p. 1109–1115.

87. Dittmar T. Audio Engineering 101: A Beginner's Guide to Music Production. London: Focal Press, 2012. 77p.

88. Dooley W., Streicher R. MS. Stereo: A Powerful Technique for Working in Stereo. *Journal of the Audio Engineering Society* 1982. V 30. no. 10.p. 707–718.

89. Dutton G. The Assessment of Two-Channel Stereophonic Reproduction Performance in Studio Monitor Rooms, Living Rooms, and Small Theatres. *Journal of the Audio Engineering Society*. 1989. V 10. no. 2. p. 98–105.

90. Eargle J. Handbook of Recording Engineering. Boston/Dordrecht/ London: Kluwer Academic Publisher, 2003. 414 p.

91. Eargle J. Music, Sound, and Technology. Springer Science+Business Media, LLC, 1995. 337 p.

92. Eargle J. Sound recording. New York, 1976. 327 p.

93. Eargle J. The Microphone Book. Second edition. Focal Press. An imprint of Elsevier Linacre House. Jordan Hill, Oxford, Burlington, 2005. 377 p.

94. EBU document Tech. 3253-2008: Sound quality assessment material. Recordings for subjective tests (Users' handbook for the EBU demonstration CD, SQAM), Geneva, 2008.

95. EBU document Tech. 3276 Listening conditions for the assessment of sound programme material: monophonic and two-channel stereo-phonic. – 2nd edition, 1998.
96. EBU document Tech. 3282-1995: Digital audio alignment levels (Users' handbook for the EBU R-DAT levels tape), 1995.
97. EBU document Tech. 3286-1997: Assessment methods for the subjective evaluation of the quality of sound programme material – Music, 1997.
98. EBU document Tech. 3287-2008: Parameters for the subjective Evaluation of the Quality of Sound programme material – Music (PEQS) (EBU demonstration CD, PEQS), Geneva, 2008.
99. EBU. European Broadcasting Union. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/European_Broadcasting_Union (last reach: 03. 12. 2017).
100. Farina A. Acoustic quality of theatres: correlations between experimental measures and subjective evaluations. *Applied Acoustics*. 2001. Vol. 62. p. 889–916.
101. Farina A. Impulse response measurements by exponential sine sweeps. Industrial Engineering Dept. University of Parma – ITALY, Workshop Casa della Musica Parma, 18 October 2008. 85 p.
102. Fischetti A. Relations between Subjective Spatialisation, Geometrical Parameters and Acoustical Criteria in Concert Halls. / A. Fischetti, Y. Hemin, J. Jouhaneau. *Applied Acoustics*. 1992. Vol. 37. p. 233–247.
103. Frith S., Zagorski-Thomas S. The Art of Record Production: An Introductory Reader for a New Academic Field. Ashgate Publishing, 2012. 301 p.
104. Gade A. C. Acoustics in halls for speech and music. Chapter 9, [in:] Handbook on Acoustics, J. Rossing [Ed.]. Springer, 2007. p. 301–350.
105. Gade A. C. Investigations of musicians' room-acoustic conditions in concert halls. Part I: Methods and laboratory experiments. *Acustica*. 1989a. Vol. 69. p. 193–203.

106. Gade A. C.Investigations of musician's room acoustic conditions in concert hall. Part II. Field experiments and synthesis of results. *Acustica*. 1989b. Vol. 69. p. 249–262.
107. Gardner M., Gardner R. Problems of Localization in the Median Plane-Effect of Pinnae Cavity Occlusion. *Journal of the Acoustical Society of America*. 1973. V 53. February. p. 400–408.
108. Gardner M. Some Single and Multiple Source Localization Effects. *Journal of the Audio Engineering Society*. 1973. V 21. no. 6. p. 430–437.
109. Gerlach H. Stereo Sound Recording with Shotgun Microphones. *Journal of the Audio Engineering Society*. 1989. V 37. no. 10. p. 832 – 838.
110. Gerzon M. Letter to the Editor, reply to comments on "Spaciousness and Localization in Listening Rooms and Their Effects on the Recording Technique. *Journal of the Audio Engineering Society*. 1987. V 35. no. 12. December. p. 1019–1014.
111. Gerzon M. Pictures of Two-Channel Directional Reproduction Systems. Preprint No. 1569 (A4), paper presented at the Audio Engineering Society 65th convention, February 25–28, 1980, London.
112. Gilkey R., Anderson T. Binaural and Spatial Hearing in Real and Virtual Environments. New York and London: Psychology Press, 2014. 795 p.
113. Gimenez A., Cibrian R., Girón S., Zamarreńo T., Sendra J. Questionnaire survey to qualify the acoustics of Spanish concert halls. *Acta Acustica united with Acustica*. 2011. Vol. 97. no. 6. p. 949–965.
114. Gimenez A., R. M. Cibrian, Cerda S. Subjective Assessment of Concert Halls: a Common Vocabulary for Music Lovers and Acousticians. *Archives of acoustics*. 2012. Vol. 37. No. 3. p. 331–340.
115. Gould G. Perspektywy muzyki nagrywanej. *Res facta*. 1969. № 3. S. 81–87.
116. Griesinger D. A Spaciousness and Localization in Listening Rooms and Their Effects on the Recording Technique. *Journal of the Audio Engineering Society*. 1986. V 34. no. 4. April. p. 255–268.

117. Griesinger D. Equalization and Spatial Equalization of Dummy Head Recordings for Loudspeaker Reproduction. *Journal of the Audio Engineering Society*. 1989. V 34. no. 1–2. December. p. 20–29.
118. Griesinger D. New Perspectives on Coincident and Semi-Coincident Microphone Arrays. Preprint No. 2464 (H4), paper presented at the Audio Engineering Society 82nd convention March 10–13, 1987, London.
119. Griesinger D. Spaciousness and envelopment in musical acoustics. Lexicon 100. Beaver Street. Waltham, MA 02154. 24 p.
120. Hannigan J. Recording Classical Music: Microphones and Multitracks. Blog News, Musings & Occasional Rants about music & life in general, April 7, 2012. URL: https://westonsound.wordpress.com.
121. Harvey F. Subjective Evaluation of Factors Affecting Two-Channel Stereophony. *Journal of the Audio Engineering Society*. 1961. V 94. no. 1. January. p. 19 – 28.
122. Hawkes R. J., Douglas H. Subjective acoustic experience in concert auditoria. *Acustica*. 1971. Vol. 24. p. 235–250.
123. Hibbing M. XY and MS Microphone Techniques in Comparison. *Journal of the Audio Engineering Society*. 1989. V 37. no. 10. p. 823–831.
124. Hidaka T. Interaural cross-correlation (IACC) as a measure of spaciousness and envelopment in concert halls. / T. Hidaka, T. Okano, L. Beranek. *J. Acous. Soc. Am*. 1994. V. 92. p. 2469.
125. Hidaka T. On the objective parameter of Texture. Takenaka R&D Institute. 6p. URL: http://www.conforg.fr/acoustics2008/cdrom/data/fa2002-sevilla/forumacusticum/archivos/rba01002.pdf (last reach: 03. 12. 2017).
126. Hoeg W., Walker C. Subjective assessment of audio quality–the means and methods within the EBU. *EBU Technical Review*. Winter, 1997. p. 40–50.
127. Horbach U. Practical Implementation of Data-Based Wave Field Reconstruction. 108th AES Convention, Paris, 2000.

128. Howard D., Angus J. Acoustics and Psychoacoustics. G-B.: Focal-Press, 2006. 412 p.
129. Huber D., Miles D., Runstein R. Modern Recording Techniques. Boston, 2005. 653 p.
130. Hunt E. Origins in Acoustics. London: Yale University Press, 1978.196 p.
131. ISO-3382: Acoustics – Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters. 2009. 22 p.
132. ITU-R Recommendation BS.1116 (rev. 1):Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems including multichannel sound systems ITU, Geneva, 1997.
133. ITU-R Recommendation BS.1284 – 1: General methods for the subjective assessment of sound quality (Question ITU-R 55/6), 1997-2003.
134. Jecklin J. A Different Way to Record Classical Music. *Journal of the Audio Engineering Society*. 1981. V 29. no. 5. p. 329–332.
135. Kamisiński T. Acoustic Simulation and Experimental Studies of Theatres and Concert Halls. *Acoustic and Biomedical Engineering*. Vol. 118. 2010. p. 78–82.
136. Kamisiński T. Correction of Acoustics in Historic Opera Theatres with the Use of Schroeder Diffuser. *Archives of Acoustics*. 2012. Vol. 37. No. 3. p. 349–354.
137. Katz M. Capturing Sound: How Technology Has Changed Music. Berkeley, University of California Press, 2004. 320 p.
138. Keller A. Early Hi Fi and Stereo Recording at Bell Laboratories (1931-1932). *J. Audio Eng Soc*. 1981. Vol. 29. No. 4. April. p.274–280.
139. Kinash R. Acoustic aspects of the Lviv Theatre of Opera and Ballet auditory usage. / Roman Kinash, Tadeusz Kamisiński, Adam Pilch, Jarosław Rubacha. *Architectus*. 2010. Nr 2(28) p. 249–253.
140. Kinash R. Zagadnienia pozaliturgicznego uzytkowania kosciola pod wezwaniem sw. Marii Magdaleny we Lwowie. / R. Kinash, A. Kulowski,

T. Kamisinski, A. Waczko. Architectura sakralna w ksztaltowaniu tozsamosci kulturowej miejsca; Praca zbiorova pod redakcja Elzbiety Przesmyckiej. – Lublin, 2006. s. 379–391.

141. Kinsler L. Fundamentals of Acoustics. / L. Kinsler [et al.]. New York: J. Wiley & Sons, 1982. 443 p.
142. Knoppow R. A Bibliography of the Relevant Literature on the Subject of Microphones. *Journal of the Audio Engineering Society*. 1985. V 33 no. 7/8. p. 557–561.
143. Koshigoe S. A., Takahashi S. Consideration on Sound Localization. Preprint No. 1132 (L9), paper presented at the Audio Engineering Society 54th convention, May 4–7, 1976.
144. Kuhl W. Acustica. 4, 1954. 618 p.
145. Kuhl W. Über Versuche zur Ermittlung der günstigsten Nachhallzeit groβer Musikstudios. *Acta Acustica united with Acustica*. 1954. V 4. no. 2 p. 618–634.
146. Kulowski A. Pomiary akustyczne sali Teatru im. Marii Zańkowieckiej we Lwowie. / A. Kulowski, T. Kamisiński, R. Kinasz, W. Głotow. I Międzynarodowa Konferencja “Architektura bez Granic”. Lublin, 4–5 listopada, 2004.
147. Kürer R. A. Simple measuring procedure for determining the "center time" of room acoustical impulse responses. 7th Intern. Congress on Acoustics, Budapest, 1971.
148. Kusek D., Leonhard G. The future of music: manifesto for the digital music revolution. Boston, Massachusetts: Berklee Press, 2005. 193 p.
149. Kuusinen A. Perception of Concert Hall Acoustics – Selection and Behaviour of Assessors ina Descriptive Analysis Experiment. Aalto University School of Electrical Engineering, Otaniemi, 9.9. 2011. 93 p.
150. Lacatis R. Historical and chronological evolution of the concert hall acoustics parameters / R. Lacatis, A. Gimenez, A. Barba Sevillano,

S.Cerda, J. Romeroand, R. Cibrian. Acoustics'08 Paris. June 29–July 4, 2008. p. 2151–2156. URL: http://www.arturobarba.com/pdf/Articulos%20congresos/Paris08%20H003047.pdf (last reach: 03. 12. 2017).

151. Lindsay R. B. The Story of acoustics. *JASA*. 1966. V. 39. no. 4. p. 629–44.
152. Lipshitz S. Stereo Microphone Techniques: Are the Purists Wrong? *Journal of the Audio Engineering Society*. 1986. V 34. no. 9. p. 716–744.
153. Lokki T. Concert hall acoustics assessment with individually elicited attributes. / T. Lokki, J. Patynen, A. Kuusinen, H. Vertanen, S. J. Tervo. *Acoust. Soc. Am.* 2011. Vol. 130. no. 2.–p. 834–849.
154. Luce R. Sound & Hearing: A Conceptual Introduction. Lawrence Erlbaum Associates Inc., 1993. 328 p.
155. Madsen E. A The Application of Velocity Microphones to Stereophonic Recording. *Journal of the Audio Engineering Society*. 1957. V 5. no. 2 p. 79–85.
156. Madsen E. R. The Application of Velocity Microphones to Stereophonic Recording. *Journal of the Audio Engineering Society*. 1957.V 5. no.2. p. 80.
157. Mahieux Y. A Microphone Array for Multimedia Workstations / Y. Mahieux [et al.]. *Journal of the Audio Engineering Society*. 1996. V 44 no. 5. p. 365–372.
158. Mar N. Del. Anatomy of the Orchestra. / Berkeley and Los Angeles: University of California Press, 1983. 530 p.
159. Marshall L. What is so special about Shoebox Halls? Envelopment, Envelopment, Envelopment. Marshall Long Acoustics 13636 Riverside Drive Sherman Oaks, California 91423. p. 21–25. URL: http://www.mlacoustics.com/PDF/Shoebox.pdf (last reach: 03. 12. 2017).
160. Martellotta F. The just noticeable differences center time and clarity index in large reverberant spaces. *J. Acoust. Soc. Am.* 2010. Vol. 128. no. 2. p. 654–663.

161. Martínez G. Does Architecture affect Acoustic perception in music halls? / Miguel Galiana Martínez, Carmen Llinares, Jaime Llinares. KEER2014. Proceedings of the 5th Kanesi Engineering and Emotion Research; International Conference; Linköping; Sweden; June 11-13 / Linköping University Electronic Press; Linköpings universitet, 2014-06-11. Issue. 100. no. 120. p. 1437–1451.
162. Mehrgardt S., Mellert V. Transformation Characteristics of the External Human Ear. *Journal of the Acoustical Society of America*. 1977. V 61. no. 6. April. p. 1567.
163. Moller H. Reproduction of Artificial-Head Recordings Through Loudspeakers. *Journal of the Audio Engineering Society*. 1989. V 37. no. 1–2. January–February. p. 30–33.
164. Mori T. Precision Sound-Image-Localization Technique Utilizing Multi-Track Tape Masters. / T. Mori, G. Fujiki, N. Takahashi, and F. Maruyama. *Journal of the Audio Engineering Society*. 1979. V 27. no. 1–2. January–February. p. 32–38.
165. Morimoto M., Maekawa Z. Auditory spaciousness and envelopment. Proceeding 13th International congress on Acoustics, Belgrade, 1989. p. 215–218.
166. Morimoto M., Nomachi K. On sound localization cues in the median plane. *Journal of the Acoustical Society of America*. 1978. s. 35.
167. Nakabayashi K. A Method of Analyzing the Quadraphonic Sound Field. *Journal of the Audio Engineering Society*. 1975. V 23. no. 3. p. 187–193.
168. Nomura H., Miyata H. Microphone Arrays for Improving Speech Intelligibility in a Reverberant or Noisy Space. *Journal of the Audio Engineering Society*. 1993. V 41 no. 10 p. 771–781.
169. Okano T. Judgments of noticeable differences in sound fields of concert halls caused by intensity variations in early reflections. *J. Acoust. Soc. Am.* 2002. Vol. 111. no. 1. p. 217–229.

170. Okano T. Psychoacoustic experiment to determine the influence of Inter-aural cross-correlation coefficient and sound pressure level of low frequencies on the apparent source width in concert halls / T. Hidaka, T. Okano, L. Beranek. *Acoustical Physics*. 1995. V. 41. no. 4–6. p. 629.
171. Owsinski B. The Recording Engineer's Handbook. Artist Pro publishing, 2005. 369 p.
172. Parkin P. Assisted Resonance. Auditorium Acoustics. London: Applied Science Publishers, 1975. p. 169–179.
173. Pierce J. The Science of Musical Sound. New York: Scientific American Books, 1983. 242 p.
174. Roederer J. The Physics and Psychophysics of Music. N. Y.: Springer – Verlag, 2008. 227 p.
175. Rossing T. D., Fletcher N. H. The Physics of Musical Instruments. New York etc., Springer-Verlag, 1991. 755p.
176. Rossing T. Science of Percussion Instruments. / World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2000. 215 p.
177. Rossing T. Springer Handbook of Acoustics. Springer – Verlag Berlin Heidelberg 2007, 2014. 1284 p.
178. Rossing T. The Science of String Instruments. Springer Science + Business Media, LLC, 2010. 469 p.
179. Rumsey F. Subjective Assessment of the Spatial Attributes of Reproduced Sound. 15th International Conference: Audio, Acoustics & Small Spaces (October 1998), 1998. no. 15–012.
180. Sabine W. Collected Papers on Acoustics. Harvard University Press. Reimpresión Dover, 1922. 1964. 308 p.
181. Sadie S., Tyrrell J. The New Grove dictionary of music and musicians. OUP USA, 2001. V. 1–29.
182. Sakamoto N. Controlling Sound-Image Localization in Stereophonic Reproduction, Part I. / N. Sakamoto, T. Gotoh, T. Kogure, and M. Shimbo.

Journal of the Audio Engineering Society. 1981. V 29. no. 11. November. p. 794–799.

183. Sakamoto N. Controlling Sound-Image Localization in Stereophonic Reproduction, Part II. / N. Sakamoto, T. Gotoh, T. Kogure, and M. Shimbo. *Journal of the Audio Engineering Society*. 1982. V 30. no. 10. October. p. 719–722.
184. Sakamoto N. On the Advanced Stereophonic Reproducing System ‘Ambience Stereo. / N. Sakamoto, T. Gotoh, T. Kogure, and M. Shimbo. Preprint No. 1361 (G3), paper presented at the Audio Engineering Society 60th convention, May 2–5, 1978, Los Angeles.
185. Schroeder M., Atal B. Computer Simulation of Sound Transmission in Rooms. IEEE Convention Record, 1963. Part 7. p. 150–155.
186. Schroeder M. R. Comparative study of European concert halls: Correlation of subjective preference with geometric and acoustic parameters. / M. R Schroeder, D. Gottlieb, K. E. Siebrasse. *JASA*. 1974. V. 56. p. 1195–1201.
187. Sessler G., West J. Condenser Microphone with Electret Foil. *Journal of the Audio Engineering Society*, April 1964. V 12 no. 2 p. 129–131.
188. Shaw E. Transformation of Sound Pressure Levels from the Free Field to the Eardrum in the Horizontal Plane. *Journal of the Acoustical Society of America*. 1974. V 56. no. 6. December. p. 1848–1861.
189. Shorter D., Harwood H. The Design of a Ribbon Type Pressure-Gradient Microphone for Broadcast Transmission. Research Department, BBC Engineering Division, BBC Publications, London, December 1955. URL: https://archive.org/stream/bbc-monographs-04/bbc_monograph_04_djvu.txt (last reach: 03. 12. 2017).
190. Sloboda J. A. The musical mind: The cognitive psychology of music. Oxford.: University press, 1985. 291 p.
191. Snow W. Basic Principles of Stereophonic Sound. *Journal of the Society of Motion Picture and Television Engineers*. 1953. V 61 p. 567–589.

192. Sotiropoulou A. G. Concert hall acoustic evaluations by ordinary concert-goers: I, multidimensional description of the evaluations. *Acustica*. 1995. Vol. 81. p. 1–19.

193. Soulodre G. A., Bradley J. S. Subjective evaluation of new room acoustic measures. *J. Acoust. Soc. Am*. 1995. Vol. 98 no. 1 p. 294–301.

194. Steinberg J., Snow W. Auditory Perspective – Physical Factors. *Electrical Engineering*. 1934. V 53 no. 1 p. 12–15. Reprinted in AES Anthology of Stereophonic Techniques 1986.

195. Streicher R., Dooley W. Basic Stereo Microphone Perspectives—A Review. *Journal of the Audio Engineering Society*. 1984. V 33. no. 78. July–August. p. 548–556.

196. Theile G. Multichannel Natural Recording Based on Psychoacoustical Principles. Presented at the 108th AES Convention, Paris 2000. Preprint no. 5156.

197. Theile G. On the Naturalness of Two-Channel Stereo Sound. Proceedings of the AES 9th International Conference, Detroit, Michigan, February 1991. p. 143–149.

198. Theile G. On the Stereophonic Imaging of Natural Spatial Perspective Via Loudspeakers: Theory. In Perception of Reproduced Sound 1987, ed. Soren Bech and O. Juhl Pedersen. Munich: Institut fur Rundfunktechnik, 1987.

199. Tohyama M. The Nature and Technology of Acoustical Space. Academic Press, London, 1995. 321 p.

200. Toole F. Sound Reproduction: The Acoustics and Psychoacoustics of Loudspeakers and Rooms. New York and London, 2013. 550 p.

201. Vanderlyn P. Auditory Cues in Stereophony. *Wireless World*. 1979. September. p. 55–60.

202. Verna P. THE Changing Landscape of Orchestral Recording. / Paul Verna. Mix: Professional Audio & Music Production., 2000. URL:

http://www.mixonline.com/news/profiles/changing-landscape-orchestral-recording/375743 (last reach: 03. 12. 2017).

203. Voitovich A. Subjective Assessment of the Sound of Orchestras (on the example of the Concert Hall of the Lviv Philharmonic named after S. Lyudkevich), *Austrian Journal of Humanities and Social Sciences*. 2017, Vol. 5–6, May–June, P, 15–24.
204. Wallach H. The Precedence Effect in Sound Localization. / H. Wallach, E. Newman, and M. Rozenzweig. *Journal of the Audio Engineering Society*. 1973. V 21. no. 10. December. p. 817–826.
205. Weingartner B. Two-Way Cardioid Microphone. *Journal of the Audio Engineering Society*. July 1966. V 14 no. 3 p. 244–251.
206. Williams M. Microphone Array analysis for Multichannel Sound Recording. Presented at the 107th Audio Engineering Society Convention, New York, September 1999. Preprint no. 4997.
207. Williams M. Unified Theory of Microphone Systems for Stereophonic Sound Recording. Preprint No. 2466 (H-6), paper presented at the Audio Engineering Society 82nd convention, March 10–13, 1987, London.
208. Yamaguchi K. Multivariate analysis of subjective and physical measures of hall acoustics. *J. Acoust. Soc. Am*. 1972. Vol. 52. p. 1271–1279.
209. Zwicker E., Zwicker T. Audio Engineering and Psychoacoustics: Matching Signals to the Final Receiver, the Human Auditory System. *Journal of Audio Engineering Society*. 1991. Vol. 39. No. 3. March. p. 115–126.
210. Zwicker E., Fast H. Psychoacoustics: Facts and Models. New York: Springer, 1999. 416 p.

ДОДАТКИ

Додаток до розділу 1

	Hall name	V m³	N	V/S_T m	$RT_{rec,M}$ s	$EDT_{omnic,M}$ s	BR_{rec} -	$C_{80,3}$ dB	G_M dB	$1-IACC_{E3}$ -	ITDG ms	Stage set
AM	Amsterdam, Music Theater	10 000	1689	-	1.30	1.30	1.30	1.9	1.7	0.55	32	n
BD	Berlin, Deutscheoper	10 800	1900	7.5	1.36	1.60	1.30	0.7	1.2	0.39	33	n
BK	Berlin, Komischeoper	7000	1222	7.1	1.25	1.23	1.30	3.1	6.0	0.62	20	y
BE	Budapest, Erkel Theater	17 000	2340	-	1.30	1.40	1.14	3.8	3.3	0.45	17	y
BS	Budapest, Staatsoper	8900	1450	-	1.34	1.37	1.14	1.9	4.4	0.65	15	y
BA	Buenos Aires, Teatro Colón	20 570	2487	9.6	1.56	1.72	1.23	1.1	2.4	0.65	18	y
CC	Chicago, Civic Opera House	23 000	3563	9.1	1.51	1.49	1.32	2.1	0.3	0.53	41	n
DS	Dresden, Semperoper	12 480	1300	10.3	1.60	1.83	1.23	0.8	2.7	0.72	20	n
EO	Essen, Opera House	8800	1125	-	1.61	1.90	1.31	1.3	−0.4	0.54	16	n
HS	Hamburg, Staatsoper	11 000	1679	7.4	1.23	1.35	1.12	2.2	1.3	0.46	34	y
LO	London, Royal Opera House[a]	12 250	2120	7.7	1.10	1.04	1.07	4.5	0.7	0.53	18	n
MS	Milan, Teatro alla Scala	11 252	2289	6.9	1.24	1.14	1.26	3.6	−0.3	0.48	16	y
NM	N.Y., Metropolitan Opera	24 724	3816	9.1	1.47	1.62	1.07	1.7	0.5	0.62	18	n
PG	Paris, Opéra Garnier	10 000	2131	6.9	1.18	1.16	1.31	4.6	0.7	0.50	15	y[a]
PS	Prague, Staatsoper	8000	1554	-	1.23	1.17	1.29	3.1	2.2	0.64	16	y
RE	Rochester, Eastman Theater	23 970	3347	10.2	1.63	1.90	1.32	0.8	3.6	0.54	22	y
SF	Salzburg, Festspielhaus	14 020	2158	8.9	1.50	1.80	1.11	1.5	1.2	0.40	27	n
SO	Seattle, Opera House	22 000	3099	11.2	2.02	2.50	1.26	−0.4	2.7	0.48	25	n
TB	Tokyo, Bunka Kaikan	16 250	2303	9.8	1.51	1.75	1.18	1.1	0.3	0.56	14	n
TN	Tokyo, New National Theater	14 500	1810	9.9	1.49	1.70	1.07	1.6	1.7	0.65	20	n
NT	Tokyo, Nissei Theater	7500	1340	7.4	1.11	1.06	1.24	4.4	5.3	0.58	17	y
VS	Vienna, Staatsoper	10 665	1709	7.3	1.36	1.43	1.19	2.7	2.8	0.60	17	y
WJ	Washington, JFK Center, Opera House	13 027	2142	8.2	1.28	1.27	1.21	4.3	3.1	0.53	15	y

[a]Steel shutter behind main stage closed.

Табл.1.1. Оперні театри в яких є доступними об'єктивні виміри

Додаток до розділу 2

Концертний зал Львівської філармонії ім. С. Людкевича								
				середні значення				
	Октави (Гц)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Партер	T20 [c]	2.32	2.41	2.13	2.03	1.93	1.59	
Балкон		2.25	2.33	2.15	2.05	1.95	1.62	
Партер	EDT [c]	2.20	2.33	2.12	1.98	1.91	1.51	
Балкон		2.26	2.32	2.09	2.05	1.96	1.58	
Партер	IACC (Early)	0.96	0.88	0.69	0.58	0.44	0.45	0.17
Балкон		0.95	0.90	0.74	0.52	0.33	0.24	0.31
Партер	G [дБ]	11.20	8.90	8.10	9.10	8.20	7.50	
Балкон		12.70	10.20	9.50	9.80	8.90	7.70	
Партер	LFc	0.23	0.24	0.35	0.32	0.32	0.29	
Балкон		0.25	0.30	0.33	0.30	0.28	0.24	
Партер	C80 [дБ]		-3.90	-2.60	-1.70	-1.70	-0.60	
Балкон			-1.80	-1.30	-1.30	-1.30	0.20	
Партер	D50 [-]		0.20	0.20	0.30	0.30	0.30	
Балкон			0.20	0.20	0.30	0.30	0.40	
Сцена	ST(sp) [дБ]	-11.92	-10.55	-10.23	-8.81	-7.15	-12.55	

Таблиця 2.1. Акустичні параметри концертного залу ім. С. Людкевича Львівської обласної філармонії

Рис. 2.1. План залу та точки вимірювання

Концертний зал Львівського оперного театру ім. С. Крушельницької									
				середні значення					
Октави (Гц)	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
T30 [s]	1.401	1.401	1.313	1.143	1.008	0.851	0.61		1.23
EDT [c]	1.23	1.28	1.17	0.98	0.85	0.75	0.46		1.07
IACC 0,+ [-]	0.9	0.7	0.27	0.23	0.26	0.4	0.21		0.25
G [дБ]	0.97	0.7	1.98	2.66	2.67	2.24			2.32
C50 [дБ]	-2.64	-2.6	-0.03	3.89	4.26	3.73	6.22		1.93
C80 [дБ]	1	2.07	3.34	5.41	6.55	6.77	10.89		5.10
D50 [-]	0.36	0.36	0.5	0.71	0.72	0.7	0.8		0.61

Таблиця 2.2. Акустичні параметри концертного залу Львівського національного академічного театру опери та балету імені Соломії Крушельницької

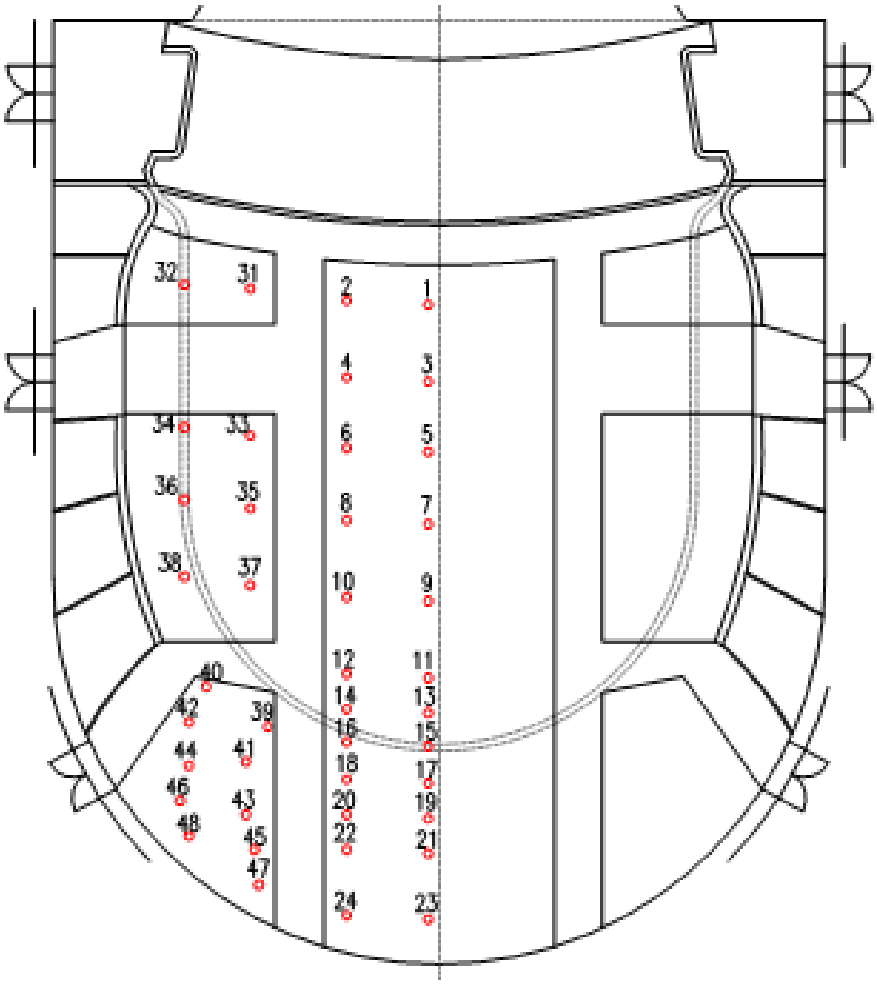


Рис. 2.2. План залу та точки вимірювання

	Концертний зал будинку органної та камерної музики											
	ISO 3382 OCTAVE BAND ACOUSTICAL PARAMETERS											
Freq. [Hz]	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	A	Lin
Signal [dB]	62.809	76.622	85.743	93.934	96.254	92.489	97.519	94.536	89.95	80.421	102.4	103.09
Noise [dB]	79.384	70.555	72.162	73.45	72.397	65.331	63.397	57.754	51.388	40.435	73.319	82.877
strenGth [dB]	-6.191	7.622	16.743	24.934	27.254	23.489	28.519	25.536	20.95	11.421	23.401	26.093
C50 [dB]	-0.888	-10.163	-11.026	-9.976	-9.221	-11.574	-8.285	-7.696	-2.974	5.283	-8.156	-8.56
C80 [dB]	-0.758	-7.846	-5.203	-7.744	-6.199	-6.675	-5.756	-4.114	0.166	8.905	-5.122	-5.46
D50 [%]	44.906	8.786	7.318	9.136	10.686	6.507	12.925	14.528	33.52	77.142	13.261	12.228
ts [ms]	-4448.2	1234.7	252.28	369.45	338.96	315.48	252.64	202.04	110.31	30.401	252.62	284.42
EDT [s]	1.748	31.881	4.645	4.909	4.394	3.978	3.223	2.518	1.491	0.699	3.298	3.723
Tuser [s]	--	34.918	3.853	5.195	4.674	3.896	2.981	2.537	1.581	0.728	3.375	4.024
T20 [s]	--	33.584	3.009	4.773	4.229	3.911	3.16	2.495	1.576	0.844	3.627	4.315
T30 [s]	--	26.756	2.577	4.293	3.773	3.49	3.104	2.5	1.578	1.022	3.431	4.236
Peakiness[dB]	14.772	18.203	22.342	23.804	24.525	26.627	28.422	31.256	38.019	45.777	29.789	27.65
Millisecs[dB]	14.954	18.305	21.789	22.872	21.502	23.16	24.136	22.364	30.576	36.897	23.085	22.021
Impulsivs[dB]	11.182	14.477	17.432	16.27	15.602	16.506	16.868	17.463	19.389	23.829	16.066	15.759

Таблиця 2.3. Акустичні параметри концертного залу будинку органної та камерної музики

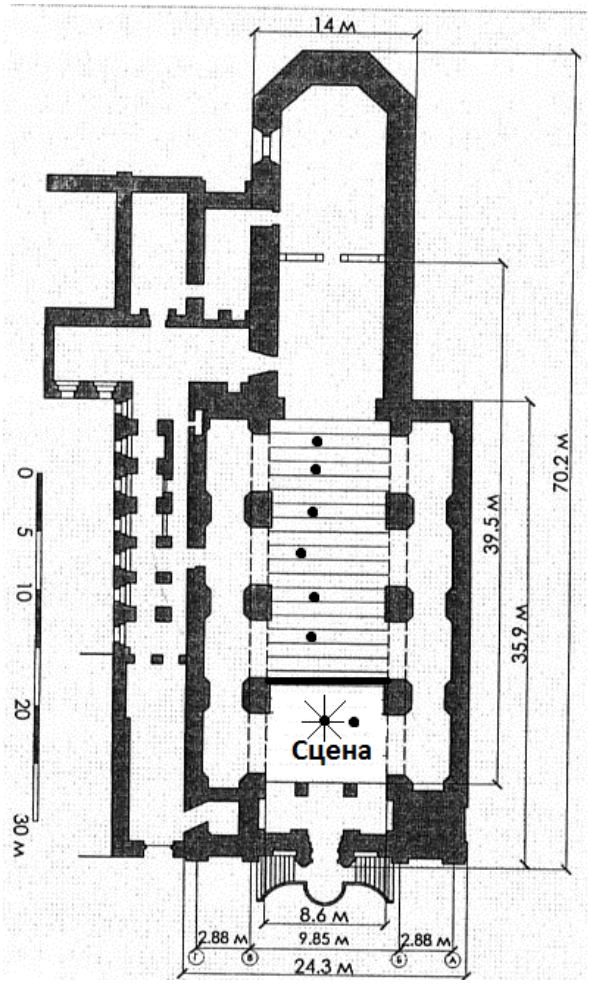


Рис. 2.3. План залу та точки вимірювання

	Концертний зал Національного академічного						
		українського драматичного театру					
		імені Марії Заньковецької					
F [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	
T20 [s]	2.07	1.68	1.54	1.47	1.32	1.02	1.516667
EDT [s]	1.74	1.62	1.47	1.49	1.2	0.91	1.405
C80 [dB]	1.00	1.70	2.20	3.70	4.20	5.20	3.00
D50 [-]	0.42	0.45	0.50	0.56	0.59	0.59	0.52
G [dB]	2.20	3.30	4.10	4.60	4.70	4.10	3.83
IACC 0,+ [	0.90	0.76	0.27	0.21	0.26	0.27	0.45
STI male [	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56

Таблиця 2.4. Акустичні параметри концертного залу Національного академічного українського драматичного театру імені Марії Заньковецької

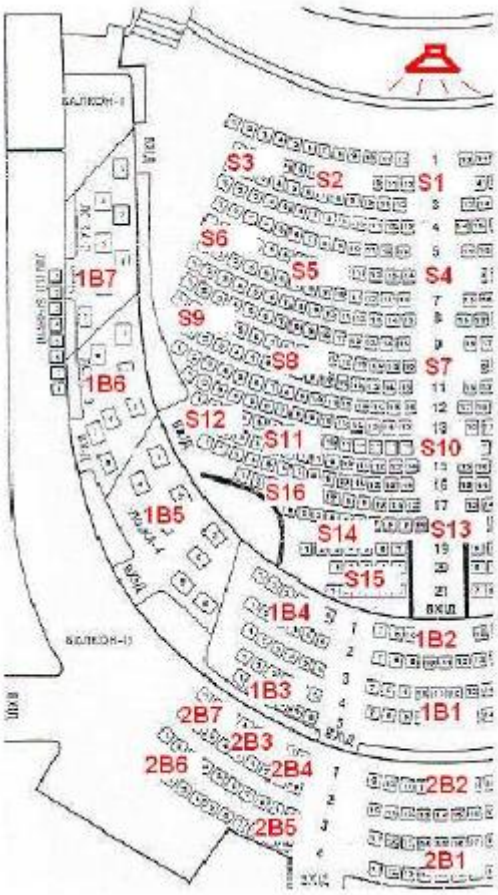


Рис. 2.4. План залу та точки вимірювання

Великий зал Львівської національної музичної академії імені М.В. Лисенка								
				середні значення				
Октави (Гц)	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
T30 [s]	1.55	1.77	1.77	1.69	1.50	1.23	0.76	
EDT [c]	2.00	1.90	1.94	1.72	1.52	1.20	0.75	
C80 [дБ]	-3.15	-1.03	-1.54	-0.60	1.09	1.69	6.13	
G [дБ]	-26.55	0.48	8.26	11.82	11.27	9.97	7.21	
D50 [%]	56.67	34.10	30.49	32.42	41.19	43.96	65.00	
IACC (Early)	0.87	0.89	0.68	0.34	0.40	0.33	0.35	
LFc	0.17	0.15	0.22	0.23	0.19	0.27	0.21	
ST(sp)	-8.38	-3.92	-2.79	-2.48	-1.57	-3.00	-2.94	

Таблиця 2.5. Акустичні параметри концертного залу Львівської національної музичної академії імені М.В. Лисенка

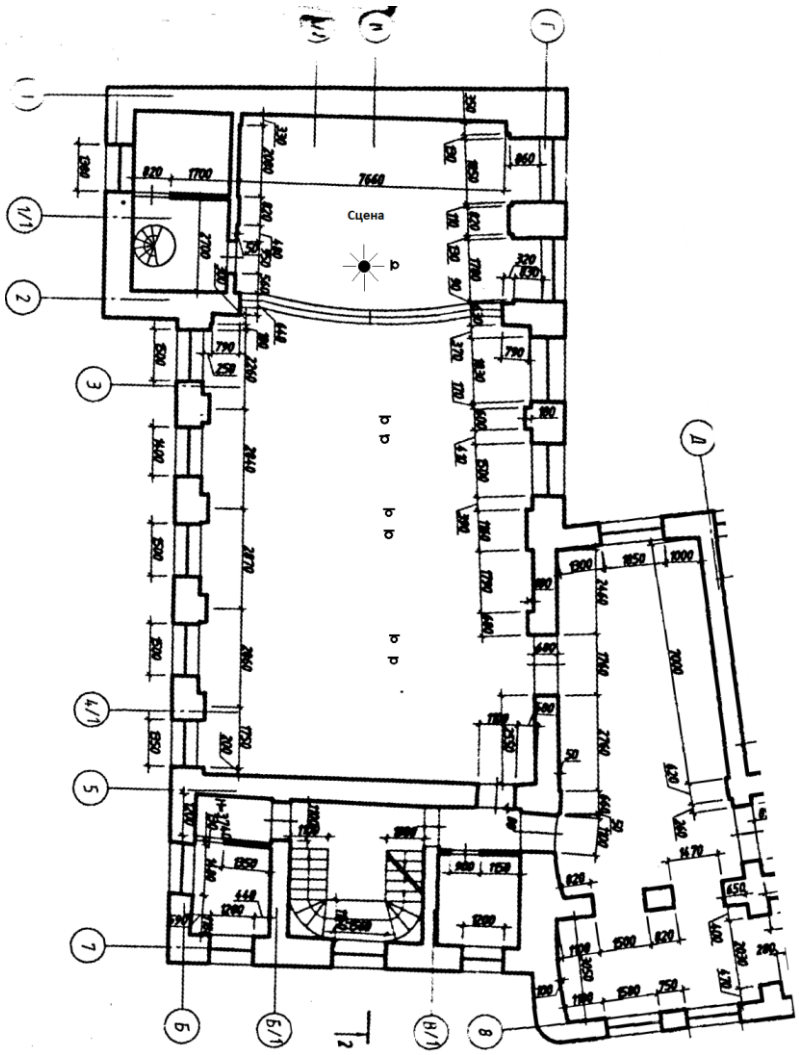


Рис. 2.5. План залу та точки вимірювання

Зал	Оркестр/ансамбль	Назва твору	
Учасник	Ряд	Місце	Дата

№	Суб’єктивні критерії	Що характеризують	Коментар	Оцінка
1	Просторовість, просторова перспектива	Просторове враження, глибину, звукову перспективу, об’ємність, життєвість		
2	Ширина	Відчуття ширини джерела звуку, локалізація джерел звуку		
3	Тембр	Багатство звуку, звучання спектрів верхнього (світлість, ясність, яскравість), середнього та нижнього (теплота, м’якість) частотних діапазонів.		
4	Чистота, прозорість, розбірливість	Розбірливість мелодичної та гармонічної лінії, партій музичних інструментів		
5	Гучність, динамічний діапазон	Рівень звучання, динамічні контрасти (різниця між «p» і «f»), динамічні відтінки.		
6	Близькість, присутність	Близькість до джерела.		
7	Текстура	Однорідність просторового звуку		
8	Звуковий баланс	Соліст/Оркестр; Між групами інструментів		
9	Підтримка, взаємодія (музиканти оркестру)	Можливість музикантів чути себе та інших музикантів оркестру і здійснювати слуховий контроль виконання.		
10	Шумові перешкоди	Зовнішні шуми, шум вентиляції, шум публіки тощо.		
11	Загальне враження			

Таблиця 2.1. Зразок анкети опитування живого виконання

Зал/Студія	Оркестр/ансамбль	Назва твору	
Учасник	Ряд	Місце	Дата

№	Суб'єктивні критерії	Що характеризують	Коментар	Оцінка
1	Просторовість, просторова перспектива	Просторове враження, глибину, звукову перспективу, об'ємність, життєвість		
2	Стереофонічний ефект	Відчуття ширини джерела звуку, точність локалізація фантомних джерел звуку, баланс у кожному напрямку		
3	Тембр	Багатство звуку, звучання спектрів верхнього (світлість, ясність, яскравість), середнього та нижнього (теплота, м'якість) частотних діапазонів		
4	Чистота, прозорість, розбірливість	Розбірливість мелодичної та гармонічної лінії, партій музичних інструментів		
5	Гучність, динамічний діапазон	Рівень звучання, динамічні контрасти (різниця між «p» і «f»), динамічні відтінки		
6	Близькість, присутність, звукові плани	Близькість до джерела, передній, середній, задній плани		
7	Текстура	Однорідність просторового звуку		
8	Звуковий баланс	Соліст/Оркестр; між групами інструментів		
9	Техніка мікрофонного прийому	Вибір системи звукозапису та місця встановлення мікрофонів		
10	Шумові перешкоди	Електрошуми, шум вентиляції, шум публіки тощо		
11	Загальне враження			

Таблиця 2.2. Зразок анкети опитування прослуховування записів

Додаток до розділу 3

Субєктивна оцінка звучання оркестрів

(живе виконання)

Концертний зал Львівської філармонії ім. С. Людкевича

Кількість анкет 48

№	*Суб'єктивні критерії*	*Бальний рейтинг*					*Обєктивні акустичні параметри*	
1	**Просторовість, просторова перспектива**	1	2	3	4	5	RT, EDT	
	Кількість оцінок			2	23	22		
	Сума по балах			6	92	110	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.3**	2.06с, 2.02с	1.8с - 2.0с
2	**Ширина**	1	2	3	4	5	1-IACCE3 / LFc	
	Кількість оцінок			4	22	22		
	Сума по балах			12	88	110	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.4**	0.6 / 0.29	≈0.70 / ≥0.19
3	**Тембр**	1	2	3	4	5	BR / Br	
	Кількість оцінок			2	18	28		
	Сума по балах			6	72	140	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.5**	1.12 / 0.81	1.1-1.45 / ≥0.87
4	**Чистота, прозорість, розбірливість**	1	2	3	4	5	C80 / D50	
	Кількість оцінок			4	16	28		
	Сума по балах			12	64	140	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.5**	-1.6дБ/30%	-4 - 2дБ/ >50%
5	**Гучність, динамічний діапазон**	1	2	3	4	5	GM	
	Кількість оцінок			16	22	10		
	Сума по балах			48	88	50	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**3.9**	9.3дБ	4 - 5.5дБ
6	**Близькість, присутність**	1	2	3	4	5	ITDG	
	Кількість оцінок			9	22	20		
	Сума по балах			27	88	100	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.5**	35мс	20 - 40мс
7	**Текстура**	1	2	3	4	5		
	Кількість оцінок			6	22	20		
	Сума по балах			18	88	100		
	Середній бал					**4.3**		
8	**Звуковий баланс**	1	2	3	4	5		
	Кількість оцінок			4	24	20		
	Сума по балах			12	96	100		
	Середній бал					**4.3**		
9	**Підтримка, взаємодія (музиканти оркестр**	1	2	3	4	5	ST(sp)mid	
	Кількість оцінок			2	28	18		
	Сума по балах			6	112	90	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.3**	-10.2дБ	-14;-12дБ
10	**Шумові перешкоди**	1	2	3	4	5		
	Кількість оцінок			2	18	28		
	Сума по балах			6	72	140		
	Середній бал					**4.5**		
11	**Загальне враження**	1	2	3	4	5		
	Кількість оцінок			2	22	24		
	Сума по балах			6	88	120		
	Середній бал					**4.5**		

Таблиця 3.1.1. Середні оцінки виконання наживо, підтверджена об'єктивними акустичними показниками

Субєктивна оцінка звучання оркестрів

(записи)

Концертний зал Львівської філармонії ім. С. Людкевича

Кількість анкет 48

№	*Суб'єктивні критерії*	*Бальний рейтинг*					
1	**Просторовість, просторова перспектива**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			2	20	26	
	Сума по балах			6	80	130	
	Середній бал						**4.5**
2	**Стереофонічний ефект**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			4	22	22	
	Сума по балах			12	88	110	
	Середній бал						**4.4**
3	**Тембр**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			2	18	28	
	Сума по балах			6	72	140	
	Середній бал						**4.5**
4	**Чистота, прозорість, розбірливість**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			4	16	28	
	Сума по балах			12	64	140	
	Середній бал						**4.5**
5	**Гучність, динамічний діапазон**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			8	12	28	
	Сума по балах			24	48	140	
	Середній бал						**4.4**
6	**Близькість, присутність, звукові плани**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			6	22	20	
	Сума по балах			18	88	100	
	Середній бал						**4.3**
7	**Текстура**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			6	22	20	
	Сума по балах			18	88	100	
	Середній бал						**4.3**
8	**Звуковий баланс**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			4	22	20	
	Сума по балах			12	88	100	
	Середній бал						**4.2**
9	**Техніка мікрофонного прийому**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			2	26	20	
	Сума по балах			6	104	100	
	Середній бал						**4.4**
10	**Шумові перешкоди**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			2	18	28	
	Сума по балах			6	72	140	
	Середній бал						**4.5**
11	**Загальне враження**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			2	22	24	
	Сума по балах			6	88	120	
	Середній бал						**4.5**

Таблиця 3.1.2. Середні оцінки записів

Субєктивна оцінка звучання оркестрів

(живе виконання)

Концертний зал Львівського оперного театру ім. С. Крушельницької

(Яма)

Кількість анкет 96

№	*Суб'єктивні критерії*	*Бальний рейтинг*					*Обєктивні акустичні параметри*	
1	**Просторовість, просторова перспектива**	1	2	3	4	5	RT, EDT	
	Кількість оцінок			14	50	32		
	Сума по балах			42	200	160	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.2**	1.23с, 1.07с	1.8с - 2.0с
2	**Ширина**	1	2	3	4	5	1-IACCE3 / LFc	
	Кількість оцінок			10	44	42		
	Сума по балах			30	176	210	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.3**	0.75/ 0.6	≈0.70 / ≥0.19
3	**Тембр**	1	2	3	4	5	BR / Br	
	Кількість оцінок			4	36	56		
	Сума по балах			12	144	280	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.5**	1.12 / 0.81	1.1-1.45 / ≥0.87
4	**Чистота, прозорість, розбірливість**	1	2	3	4	5	C80 / D50	
	Кількість оцінок			8	32	56		
	Сума по балах			24	128	280	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.5**	5.1дБ/60%	-4 до 2дБ/ >50%
5	**Гучність, динамічний діапазон**	1	2	3	4	5	GM	
	Кількість оцінок			16	28	56		
	Сума по балах			48	112	280	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.6**	2.32дБ	4 - 5.5дБ
6	**Близькість, присутність**	1	2	3	4	5	ITDG	
	Кількість оцінок			12	44	40		
	Сума по балах			36	176	200	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.3**	35мс	20 - 40мс
7	**Текстура**	1	2	3	4	5		
	Кількість оцінок			6	48	42		
	Сума по балах			18	192	210		
	Середній бал					**4.4**		
8	**Звуковий баланс**	1	2	3	4	5		
	Кількість оцінок			4	36	56		
	Сума по балах			12	144	280		
	Середній бал					**4.5**		
9	**Підтримка, взаємодія (музиканти оркестр**	1	2	3	4	5	ST(sp)mid	
	Кількість оцінок			4	36	56		
	Сума по балах			12	144	280	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.5**	-10дБ	-14;-12дБ
10	**Шумові перешкоди**	1	2	3	4	5		
	Кількість оцінок			6	44	46		
	Сума по балах			18	176	230		
	Середній бал					**4.4**		
11	**Загальне враження**	1	2	3	4	5		
	Кількість оцінок			4	42	50		
	Сума по балах			12	168	250		
	Середній бал					**4.5**		

Таблиця 3.1.3. Середні оцінки виконання наживо, підтверджена об'єктивними акустичними показниками

Субєктивна оцінка звучання оркестрів

(живе виконання)

Концертний зал Львівського оперного театру ім. С. Крушельницької

(Сцена)

Кількість анкет 10

№	*Суб'єктивні критерії*	*Бальний рейтинг*					*Обєктивні акустичні параметри*	
1	**Просторовість, просторова перспектива**	1	2	3	4	5	RT, EDT	
	Кількість оцінок			2	6	2		
	Сума по балах			6	24	10	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4**	1.23с, 1.07с	1.8с - 2.0с
2	**Ширина**	1	2	3	4	5	1-IACCE3 / LFc	
	Кількість оцінок			3	5	2		
	Сума по балах			9	20	10	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**3.9**	0.75/ 0.6	≈0.70 / ≥0.19
3	**Тембр**	1	2	3	4	5	BR / Br	
	Кількість оцінок			2	8	0		
	Сума по балах			6	32	0	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**3.8**	1.12 / 0.81	1.1-1.45 / ≥0.87
4	**Чистота, прозорість, розбірливість**	1	2	3	4	5	C80 / D50	
	Кількість оцінок			2	7	1		
	Сума по балах			6	28	5	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**3.9**	5.1дБ/60%	-4 до 2дБ/ >50%
5	**Гучність, динамічний діапазон**	1	2	3	4	5	GM	
	Кількість оцінок			0	6	4		
	Сума по балах			0	24	20	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.4**	2.32дБ	4 - 5.5дБ
6	**Близькість, присутність**	1	2	3	4	5	ITDG	
	Кількість оцінок			2	8	0		
	Сума по балах			6	32	0	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**3.8**	35мс	20 - 40мс
7	**Текстура**	1	2	3	4	5		
	Кількість оцінок			2	7	1		
	Сума по балах			6	28	5		
	Середній бал					**3.9**		
8	**Звуковий баланс**	1	2	3	4	5		
	Кількість оцінок			4	4	2		
	Сума по балах			12	16	10		
	Середній бал					**3.8**		
9	**Підтримка, взаємодія (музиканти оркестр**	1	2	3	4	5	ST(sp)mid	
	Кількість оцінок			4	4	2		
	Сума по балах			12	16	10	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**3.8**	-10дБ	-14;-12дБ
10	**Шумові перешкоди**	1	2	3	4	5		
	Кількість оцінок			0	8	2		
	Сума по балах			0	32	10		
	Середній бал					**4.2**		
11	**Загальне враження**	1	2	3	4	5		
	Кількість оцінок			1	9	0		
	Сума по балах			3	36	0		
	Середній бал					**3.9**		

Таблиця 3.1.4. Середні оцінки виконання наживо, підтверджена об'єктивними акустичними показниками

Субєктивна оцінка звучання оркестрів

(записи)

Концертний зал Львівського оперного театру ім. С. Крушельницької

Кількість анкет 24

№	*Суб'єктивні критерії*	*Бальний рейтинг*					
1	**Просторовість, просторова перспектива**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			6	10	8	
	Сума по балах			18	40	40	
	Середній бал						**4.1**
2	**Стереофонічний ефект**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			2	11	11	
	Сума по балах			6	44	55	
	Середній бал						**4.4**
3	**Тембр**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			1	9	14	
	Сума по балах			3	36	70	
	Середній бал						**4.5**
4	**Чистота, прозорість, розбірливість**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			2	8	14	
	Сума по балах			6	32	70	
	Середній бал						**4.5**
5	**Гучність, динамічний діапазон**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			4	6	14	
	Сума по балах			12	24	70	
	Середній бал						**4.4**
6	**Близькість,присутність, звукові плани**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			3	11	10	
	Сума по балах			9	44	50	
	Середній бал						**4.3**
7	**Текстура**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			1	11	12	
	Сума по балах			3	44	60	
	Середній бал						**4.5**
8	**Звуковий баланс**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			2	12	10	
	Сума по балах			6	48	50	
	Середній бал						**4.3**
9	**Техніка мікрофонного прийому**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			1	13	10	
	Сума по балах			3	52	50	
	Середній бал						**4.4**
10	**Шумові перешкоди**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			1	9	14	
	Сума по балах			3	36	70	
	Середній бал						**4.5**
11	**Загальне враження**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			1	11	12	
	Сума по балах			3	44	60	
	Середній бал						**4.5**

Таблиця 3.1.5. Середні оцінки записів

Субєктивна оцінка звучання оркестрів

(живе виконання)

Концертний зал будинку органної та камерної музики

Кількість анкет 48

№	*Суб'єктивні критерії*	*Бальний рейтинг*					*Обєктивні акустичні параметри*	
1	**Просторовість, просторова перспектива**	1	2	3	4	5	RT, EDT	
	Кількість оцінок			2	23	22		
	Сума по балах			6	92	110	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.3**	4.3с, 3.9с	1.8с - 2.0с
2	**Ширина**	1	2	3	4	5	1-IACCE3 / LFc	
	Кількість оцінок			16	22	10		
	Сума по балах			48	88	50	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**3.9**	0.4 / 0.1	≈0.70 / ≥0.19
3	**Тембр**	1	2	3	4	5	BR / Br	
	Кількість оцінок			12	18	18		
	Сума по балах			36	72	90	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.1**	1.5 / 0.67	1.1-1.45 / ≥0.87
4	**Чистота, прозорість, розбірливість**	1	2	3	4	5	C80 / D50	
	Кількість оцінок			18	16	14		
	Сума по балах			54	64	70	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**3.9**	-6.4дБ/12%	-4 до 2дБ/ >50%
5	**Гучність, динамічний діапазон**	1	2	3	4	5	GM	
	Кількість оцінок			8	22	18		
	Сума по балах			24	88	90	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.2**	21.2дБ	4 - 5.5дБ
6	**Близькість, присутність**	1	2	3	4	5	ITDG	
	Кількість оцінок			22	22	4		
	Сума по балах			66	88	20	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**3.6**	40мс	20 - 40мс
7	**Текстура**	1	2	3	4	5		
	Кількість оцінок			6	22	20		
	Сума по балах			18	88	100		
	Середній бал					**4.3**		
8	**Звуковий баланс**	1	2	3	4	5		
	Кількість оцінок			4	24	20		
	Сума по балах			12	96	100		
	Середній бал					**4.3**		
9	**Підтримка, взаємодія (музиканти оркестр**	1	2	3	4	5	ST(sp)mid	
	Кількість оцінок			2	28	18		
	Сума по балах			6	112	90	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.3**	2.2дБ	-14;-12дБ
10	**Шумові перешкоди**	1	2	3	4	5		
	Кількість оцінок			12	18	18		
	Сума по балах			36	72	90		
	Середній бал					**4.1**		
11	**Загальне враження**	1	2	3	4	5		
	Кількість оцінок			15	22	11		
	Сума по балах			45	88	55		
	Середній бал					**3.9**		

Таблиця 3.1.6. Середні оцінки виконання наживо, підтверджена об'єктивними акустичними показниками

Субєктивна оцінка звучання оркестрів

(записи)

Концертний зал будинку органної та камерної музики

Кількість анкет 24

№	*Суб'єктивні критерії*	*Бальний рейтинг*					
1	**Просторовість, просторова перспектива**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			6	10	8	
	Сума по балах			18	40	40	
	Середній бал						**4.1**
2	**Стереофонічний ефект**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			2	11	11	
	Сума по балах			6	44	55	
	Середній бал						**4.4**
3	**Тембр**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			1	9	14	
	Сума по балах			3	36	70	
	Середній бал						**4.5**
4	**Чистота, прозорість, розбірливість**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			2	8	14	
	Сума по балах			6	32	70	
	Середній бал						**4.5**
5	**Гучність, динамічний діапазон**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			4	6	14	
	Сума по балах			12	24	70	
	Середній бал						**4.4**
6	**Близькість,присутність, звукові плани**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			3	11	10	
	Сума по балах			9	44	50	
	Середній бал						**4.3**
7	**Текстура**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			1	11	12	
	Сума по балах			3	44	60	
	Середній бал						**4.5**
8	**Звуковий баланс**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			2	12	10	
	Сума по балах			6	48	50	
	Середній бал						**4.3**
9	**Техніка мікрофонного прийому**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			1	13	10	
	Сума по балах			3	52	50	
	Середній бал						**4.4**
10	**Шумові перешкоди**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			1	9	14	
	Сума по балах			3	36	70	
	Середній бал						**4.5**
11	**Загальне враження**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			1	11	12	
	Сума по балах			3	44	60	
	Середній бал						**4.5**

Таблиця 3.1.7. Середні оцінки записів

Субєктивна оцінка звучання оркестрів

(живе виконання)

Концертний зал Національного академічного українського драматичного театру імені Марії Заньковецької

Кількість анкет 20

(Яма)

№	*Суб'єктивні критерії*	*Бальний рейтинг*					*Обєктивні акустичні параметри*	
1	**Просторовість, просторова перспектива**	1	2	3	4	5	RT, EDT	
	Кількість оцінок			2	10	8		
	Сума по балах			6	40	40	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.3**	1.51c,1.4c	1.8s - 2.0s
2	**Ширина**	1	2	3	4	5	1-IACCE3 / LFc	
	Кількість оцінок			3	12	5		
	Сума по балах			9	48	25	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.1**	0.55 / 0.2	≈0.70 / ≥0.19
3	**Тембр**	1	2	3	4	5	BR / Br	
	Кількість оцінок			1	11	8		
	Сума по балах			3	44	40	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.4**	1.25 / 0.78	1.1-1.45 / ≥0.87
4	**Чистота, прозорість, розбірливість**	1	2	3	4	5	C80 / D50	
	Кількість оцінок			1	12	7		
	Сума по балах			3	48	35	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.3**	3.0дБ/52%	-4 - 2dB/ >50%
5	**Гучність, динамічний діапазон**	1	2	3	4	5	GM	
	Кількість оцінок			4	11	5		
	Сума по балах			12	44	25	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.1**	3.83дБ	4 - 5.5дБ
6	**Близькість, присутність**	1	2	3	4	5	ITDG	
	Кількість оцінок			0	12	8		
	Сума по балах			0	48	40	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.4**	35мс	20 - 40мс
7	**Текстура**	1	2	3	4	5		
	Кількість оцінок			0	10	10		
	Сума по балах			0	40	50		
	Середній бал					**4.5**		
8	**Звуковий баланс**	1	2	3	4	5		
	Кількість оцінок			4	11	5		
	Сума по балах			12	44	25		
	Середній бал					**4.1**		
9	**Підтримка, взаємодія (музиканти оркестр**	1	2	3	4	5	ST(sp)mid	
	Кількість оцінок			2	8	10		
	Сума по балах			6	32	50	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.4**	-10дБ	-14;-12дБ
10	**Шумові перешкоди**	1	2	3	4	5		
	Кількість оцінок			0	8	12		
	Сума по балах			0	32	60		
	Середній бал					**4.6**		
11	**Загальне враження**	1	2	3	4	5		
	Кількість оцінок			0	10	10		
	Сума по балах			0	40	50		
	Середній бал					**4.5**		

Таблиця 3.1.8. Середні оцінки виконання наживо, підтверджена об'єктивними акустичними показниками

Субєктивна оцінка звучання оркестрів

(живе виконання)

Концертний зал Національного академічного українського драматичного театру імені Марії Заньковецької

Кількість анкет 96

(Сцена)

№	*Суб'єктивні критерії*	*Бальний рейтинг*					*Обєктивні акустичні параметри*	
1	**Просторовість, просторова перспектива**	1	2	3	4	5	RT, EDT	
	Кількість оцінок			14	50	32		
	Сума по балах			42	200	160	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.2**	1.51c,1.4c	1.8s - 2.0s
2	**Ширина**	1	2	3	4	5	1-IACCE3 / LFc	
	Кількість оцінок			10	44	42		
	Сума по балах			30	176	210	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.3**	0.55 / 0.2	≈0.70 / ≥0.19
3	**Тембр**	1	2	3	4	5	BR / Br	
	Кількість оцінок			4	36	56		
	Сума по балах			12	144	280	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.5**	1.25 / 0.78	1.1-1.45 / ≥0.87
4	**Чистота, прозорість, розбірливість**	1	2	3	4	5	C80 / D50	
	Кількість оцінок			8	32	56		
	Сума по балах			24	128	280	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.5**	3.0дБ/52%	-4 - 2dB/ >50%
5	**Гучність, динамічний діапазон**	1	2	3	4	5	GM	
	Кількість оцінок			16	28	56		
	Сума по балах			48	112	280	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.6**	3.83дБ	4 - 5.5дБ
6	**Близькість, присутність**	1	2	3	4	5	ITDG	
	Кількість оцінок			12	44	40		
	Сума по балах			36	176	200	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.3**	35мс	20 - 40мс
7	**Текстура**	1	2	3	4	5		
	Кількість оцінок			6	48	42		
	Сума по балах			18	192	210		
	Середній бал					**4.4**		
8	**Звуковий баланс**	1	2	3	4	5		
	Кількість оцінок			4	36	56		
	Сума по балах			12	144	280		
	Середній бал					**4.5**		
9	**Підтримка, взаємодія (музиканти оркестр**	1	2	3	4	5	ST(sp)mid	
	Кількість оцінок			4	36	56		
	Сума по балах			12	144	280	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.5**	-10дБ	-14;-12дБ
10	**Шумові перешкоди**	1	2	3	4	5		
	Кількість оцінок			6	44	46		
	Сума по балах			18	176	230		
	Середній бал					**4.4**		
11	**Загальне враження**	1	2	3	4	5		
	Кількість оцінок			4	42	50		
	Сума по балах			12	168	250		
	Середній бал					**4.5**		

Таблиця 3.1.9. Середні оцінки виконання наживо, підтверджена об'єктивними акустичними показниками

Субєктивна оцінка звучання оркестрів

(записи)

Концертний зал Національного академічного українського драматичного театру імені Марії Заньковецької

Кількість анкет 24

№	*Суб'єктивні критерії*	*Бальний рейтинг*					
1	**Просторовість, просторова перспектива**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			6	10	8	
	Сума по балах			18	40	40	
	Середній бал						**4.1**
2	**Стереофонічний ефект**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			2	11	11	
	Сума по балах			6	44	55	
	Середній бал						**4.4**
3	**Тембр**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			1	9	14	
	Сума по балах			3	36	70	
	Середній бал						**4.5**
4	**Чистота, прозорість, розбірливість**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			2	8	14	
	Сума по балах			6	32	70	
	Середній бал						**4.5**
5	**Гучність, динамічний діапазон**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			4	6	14	
	Сума по балах			12	24	70	
	Середній бал						**4.4**
6	**Близькість,присутність, звукові плани**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			3	11	10	
	Сума по балах			9	44	50	
	Середній бал						**4.3**
7	**Текстура**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			1	11	12	
	Сума по балах			3	44	60	
	Середній бал						**4.5**
8	**Звуковий баланс**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			2	12	10	
	Сума по балах			6	48	50	
	Середній бал						**4.3**
9	**Техніка мікрофонного прийому**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			1	13	10	
	Сума по балах			3	52	50	
	Середній бал						**4.4**
10	**Шумові перешкоди**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			1	9	14	
	Сума по балах			3	36	70	
	Середній бал						**4.5**
11	**Загальне враження**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			1	11	12	
	Сума по балах			3	44	60	
	Середній бал						**4.5**

Таблиця 3.1.10. Середні оцінки записів

Субєктивна оцінка звучання оркестрів

(живе виконання)

Великий зал Львівської національної музичної академії імені М.В. Лисенка

Кількість анкет 48

№	*Суб'єктивні критерії*	*Бальний рейтинг*					*Обєктивні акустичні параметри*	
1	**Просторовість, просторова перспектива**	1	2	3	4	5	RT, EDT	
	Кількість оцінок			2	24	21		
	Сума по балах			6	96	105	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.3**	1.59с,1.66с	1.8с - 2.0с
2	**Ширина**	1	2	3	4	5	1-IACCE3 / LFc	
	Кількість оцінок			14	24	10		
	Сума по балах			42	96	50	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**3.9**	0.53 / 0.19	≈0.70 / ≥0.19
3	**Тембр**	1	2	3	4	5	BR / Br	
	Кількість оцінок			2	18	28		
	Сума по балах			6	72	140	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.5**	1.88 / 0.79	1.1-1.45 / ≥0.87
4	**Чистота, прозорість, розбірливість**	1	2	3	4	5	C80/D50	
	Кількість оцінок			4	16	28		
	Сума по балах			12	64	140	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.5**	-0.35дБ/43..	-4 - 2dB/ >50%
5	**Гучність, динамічний діапазон**	1	2	3	4	5	GM	
	Кількість оцінок			18	22	8		
	Сума по балах			54	88	40	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**3.8**	10.04дБ	4 - 5.5дБ
6	**Близькість, присутність**	1	2	3	4	5	ITDG	
	Кількість оцінок			9	22	20		
	Сума по балах			27	88	100	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.5**	12мс	20 - 40мс
7	**Текстура**	1	2	3	4	5		
	Кількість оцінок			6	22	20		
	Сума по балах			18	88	100		
	Середній бал					**4.3**		
8	**Звуковий баланс**	1	2	3	4	5		
	Кількість оцінок			4	24	20		
	Сума по балах			12	96	100		
	Середній бал					**4.3**		
9	**Підтримка, взаємодія (музиканти оркестр**	1	2	3	4	5	ST(sp)mid	
	Кількість оцінок			4	28	16		
	Сума по балах			12	112	80	фактичні	рекомендовані
	Середній бал					**4.3**	-2.75дб	-14;-12дБ
10	**Шумові перешкоди**	1	2	3	4	5		
	Кількість оцінок			2	18	28		
	Сума по балах			6	72	140		
	Середній бал					**4.5**		
11	**Загальне враження**	1	2	3	4	5		
	Кількість оцінок			2	22	24		
	Сума по балах			6	88	120		
	Середній бал					**4.5**		

Таблиця 3.1.11. Середні оцінки виконання наживо, підтверджена об'єктивними акустичними показниками

Субєктивна оцінка звучання оркестрів

(записи)

Великий зал Львівської національної музичної академії імені М.В. Лисенка

Кількість анкет 24

№	*Суб'єктивні критерії*	*Бальний рейтинг*					
1	**Просторовість, просторова перспектива**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			1	15	8	
	Сума по балах			3	60	40	
	Середній бал						**4.3**
2	**Стереофонічний ефект**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			6	12	6	
	Сума по балах			18	48	30	
	Середній бал						**4**
3	**Тембр**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			1	18	5	
	Сума по балах			3	72	25	
	Середній бал						**4.2**
4	**Чистота, прозорість, розбірливість**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			2	16	6	
	Сума по балах			6	64	30	
	Середній бал						**4.2**
5	**Гучність, динамічний діапазон**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			8	12	4	
	Сума по балах			24	48	20	
	Середній бал						**3.8**
6	**Близькість, присутність, звукові плани**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			6	12	6	
	Сума по балах			18	48	30	
	Середній бал						**4**
7	**Текстура**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			3	14	7	
	Сума по балах			9	56	35	
	Середній бал						**4.2**
8	**Звуковий баланс**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			4	12	8	
	Сума по балах			12	48	40	
	Середній бал						**4.2**
9	**Техніка мікрофонного прийому**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			2	14	8	
	Сума по балах			6	56	40	
	Середній бал						**4.3**
10	**Шумові перешкоди**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			2	8	14	
	Сума по балах			6	32	70	
	Середній бал						**4.5**
11	**Загальне враження**	1	2	3	4	5	
	Кількість оцінок			2	12	10	
	Сума по балах			6	48	50	
	Середній бал						**4.3**

Таблиця 3.1.12. Середні оцінки записів

Світлина 3.1. Приклад багатомікрофонної сесії звукозапису (Львівська філармонія)

Світлина 3.2. Приклад багатомікрофонної сесії звукозапису (Львівська опера)

Світлина 3.3. Приклад багатомікрофонної сесії звукозапису (Органний зал)

Світлина 3.4. Приклад багатомікрофонної сесії звукозапису (Театр ім. М. Заньковецької)

Світлина 3.5. Приклад багатомікрофонної сесії звукозапису (ЛНМА імені М. В. Лисенка)

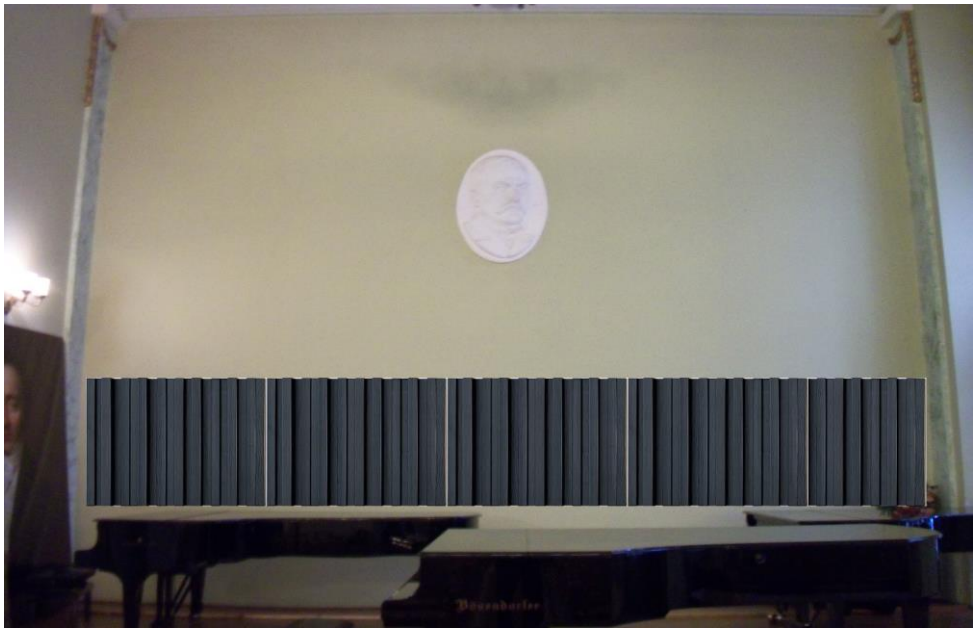
Світлини 3.6. Приклади акустичної корекції концертного залу Львівської філармонії

Світлина 3.7. Приклади акустичної корекції концертного залу Львівської філармонії

Світлина 3.8. Приклади акустичної корекції концертного залу Львівської опери

Світлина 3.9. Приклади акустичної корекції органного залу

Світлина 3.10. Приклади акустичної корекції концертного залу театру ім. М. Заньковецької



Світлини 3.11. Приклади акустичної корекції концертного залу ЛНМА імені М. В. 0160Лисенка

Перелік записів львівських студій прослуханих та оцінених експертними групами

Львівська Філармонія:

1. Камерний оркестр «Віртуози Львова», В.А. Моцарт, «Маленька нічна серенада» IV. Rondo. Allegro, дир. Бурко, запис студії «MD». Двомікрофонна сесія звукозапису (2013р.).

2. Камерний оркестр «Віртуози Львова», В.А. Моцарт, «Маленька нічна серенада» II. Romance. Andante, дир. Бурко, запис студії «MD». Двомікрофонна сесія звукозапису (2013р.).

3. Симфонічний оркестр Львівської філармонії, твори молодих композиторів, дир. Фердінандо Наварро. запис студії «MD». Багатомікрофонна сесія звукозапису(03-05. 05.2015р.).

4. «Інсо», Ю. Лакцюк, дир. В. Сивохіп, віолончель Д. Литвиненко, запис студії «Time Based Stereo Recording». Двомікрофонна сесія звукозапису.

5. Камерний оркестр ЛНМА ім. М. Лисенка, Астор Піаццолла, Клаудіуш Баран – бандеон (Польща), запис студії «Time Based Stereo Recording». Двомікрофонна сесія звукозапису.

Львівська Опера:

1. Симфонічний оркестр Львівської опери, С.Барбер, Адажіо зі струнного квартету №1, запис студії «Time Based Stereo Recording». Двомікрофонна сесія звукозапису (орк. сцена).

2. Симфонічний оркестр Львівської опери, Б. Лятошинський, симфонія №3 ч2, запис студії «Time Based Stereo Recording». Двомікрофонна сесія звукозапису (орк. сцена).

3. Симфонічний оркестр Львівської опери, Й. Штраус, Летюча миш. Запис за доп. імітатора людської голови 10.11.2015 (орк. яма).

4. Симфонічний оркестр Львівської опери, Семен Гулак-Артемовський, Запорожець за Дунаєм Запис за доп. Імітатора людської голови 10.12.2015 (орк. яма).

5. Симфонічний оркестр Львівської опери, Адольф Адан, Жізель. Запис за доп. Імітатора людської голови 27.12.2015 (орк. яма).

6. Симфонічний оркестр Львівської опери, Петро Чайковський, Лебедине озеро. Запис за доп. імітатора людської голови 10.12.2015 (орк. яма).

7. Симфонічний оркестр Львівської опери, Петро Чайковський, Лускунчик. Запис за доп. імітатора людської голови 25.12.2015 (орк. яма).

Органний Зал:

1. Симфонічний оркестр університету Львівська політехніка, Ж. Бізе, марш Тореадора з опери "Кармен", дир. Н. Яцьків., запис студії «Time Based Stereo Recording». Двомікрофонна сесія звукозапису.

2. Львівський камерний оркестр. Фестиваль сакральної музики Львів-2015. , дир. Фердінандо Наварро. запис студії «MD». Багатомікрофонна сесія звукозапису(10. 05.2015р.).

Театр ім. М. Заньковецької:

1. Оркестр Національного театру ім. М. Заньковецької, Мелодії літньої ночі, (CD, 6 творів), дир. Б. Мочурад, запис «Студія Лева». Багатомікрофонна сесія звукозапису(2013р.).

ЛНМА імені М. В. Лисенка:

1. Камерний оркестр, мол. композитор Сергій Гаврилюк, «Мандрівник» (запис). Багатомікрофонна сесія звукозапису (20. 05. 2016р.)

2. Струнний квартет, мол. композитор Сергій Гаврилюк, сюїта для ст. квартету, муз до вистави «Вихід із темряви». Багатомікрофонна сесія звукозапису (22. 06. 2017р.).

3. Львівський камерний оркестр «Академія», мол. композитор Сергій Гаврилюк, концерт для альта і контрабаса «Могила Вівальді». Багатомікрофонна сесія звукозапису (22. 06. 2017р.).

4. Львівський камерний оркестр «Академія», мол. композитор Сергій Гаврилюк, твір за одноіменною новелою Ф. Кафки «Перетворення». Багатомікрофонна сесія звукозапису (22. 06. 2017р.).

Дискографія прослуханих архівних записів Львівської телерадіокомпанії

Архів телебачення

1. В-А. Моцарт. Реквієм

Хронометраж - 1 год. 01 хв. 10 сек. (1992р.).

Виконавці: заслужена хорова капела України "Трембіта", симфонічний оркестр Львівської філармонії. Диригент - Роман Матсов.

Диск М-0060

2. Л. Керубіні. Реквієм (2011р.).

Хронометраж - 53 хв. 34 сек .

Виконують: державний український чоловічий хор імені Ревуцького (керівник - Богдан Антків), симфонічний оркестр Львівської філармонії (диригент - Іван Юзюк).

Диск М-0060

3. Фестиваль Миколи Лисенка (2002р.).

Хронометраж - 1 год. 03 хв. 20 сек.

Звучать: кантата "Радуйся, ниво неполитая" у виконанні хору "Дударик" і симфонічного оркестру Львівської філармонії, твір М. Лисенка "Жалібний марш" на слова Лесі Українки у виконанні заслуженої капели України "Трембіта", симфонічного оркестру Львівської філармонії, солістів Л. Давимуки, Н. Свободи, Р. Вітошинського.

Диск М-0125

4. Міжнародний фестиваль музичного мистецтва "Віртуози" (2015р.).

Хронометраж - 48 хв. 03 сек

Звучить третя симфонія американського композитора Леонарда Бернстайна "Кадиш" у виконанні хорової капели "Дударик", солістів і симфонічного оркестру Львівської державної філармонії.

Диск М-0131

5. Дударику - 35 років(2006р.).

Хронометраж - 38 хв. 15 сек.

Звучать: класичні твори у виконанні Львівської державної чоловічої хорової капели "Дударик", Галицького камерного хору та симфонічного оркестру «Леополіс».

Диск М-0140

6. "Музика з вогню і попелу". Концерт для фортепіано з

оркестром Василя Барвінського(1998р.).

Хронометраж - 38 хв. 13 сек.

Історія його зникнення, пошуків і віднайдення, а також сам концерт, який виконує симфонічний оркестр Львівської філармонії (солістка – Марія Крушельницька).

Диск М-0182

7. Ораторія "Від Ніагари до Дніпра"(2007р.).

Хронометраж - 32 хв. 49 сек.

Ораторія А. Кос-Анатольського на вірші Р. Братуня до 60-річчя операції "Вісла". Виконавці: заслужена академічна капела України "Трембіта", Львівська хорова капела "Дударик", симфонічний оркестр Львівського Національного академічного театру опери та балету ім. С. Крушельницької, солісти Львівського Національного академічного театру опери та балету ім. С. Крушельницької Світлана Мамчур та Орест Сидір.

Диск М-0334

8. Кантата-симфонія "Кавказ"(1993р.).

Хронометраж - 55 хв. 11 сек.

Історія написання цього музичного твору. Звучить кантата-симфонія "Кавказ" (музика Станіслава Людкевича, вірші Тараса Шевченка). Виконавці: заслужені хорові капели України "Трембіта", "Думка", симфонічний оркестр Львівської філармонії.

Диск М-0340

9. Концерт до 120-річчя від дня народження Василя (2008р.).

Барвінського (1 част.)

Хронометраж - 59 хв. 41 сек

У концерті беруть участь Оксана Рапіта (фортепіано), Лілія Коструба (сопрано), Ярослав Матюха (концертмейстер), Галина Жук (солістка), академічний симфонічний оркестр Львівської філармонії. Диригує Айдар Торибаєв.

Диск М-0516

10. Концерт до 120-річчя від дня народження Василя Барвінського (2008р.).

Хронометраж - 48 хв. 22 сек.

У концерті беруть участь Оксана Рапіта (фортепіано), Лілія Коструба (сопрано), Ярослав Матюха (концертмейстер), Галина Жук (солістка), академічний симфонічний оркестр Львівської філармонії. Диригує Айдар Торибаєв.

Диск М-0559

11. Фестиваль. Тиждень музики Мирослава Скорика (2000р.).

Хронометраж - 47 хв. 43 сек.

Програма присвячена ювілею композитора, Героя України М. Скорика. Грає симфонічний оркестр Львівської філармонії. Соліст - Володимир Винницький (США).

Диск М-0698

12. Симфонічний концерт (2010р.)

Хронометраж - 34 хв. 40 сек. (1 част.)

27 хв. 01 сек. (2 част.). (2010р.)

Концерт симфонічної музики композитора Анатолія Кос-Анатольського в рамках фестивалю до 100-ліття від дня його народження. Концерт для фортепіано з оркестром №1. Солістка - Мар'яна Гумецька.

Диск М-0835

13. Міжнародний фестиваль музики "Віртуози-2010".

Хронометраж - 1 год. 11 хв. 45 сек.

Концерт "Віва, Вівальді !" Твори Антоніо Вівальді виконують камерний хор "Глорія" та симфонічний оркестр "Інсо-Львів".

Диск М-0899

14. Концерт "Симфонія міста". Співає Наталія Ковальова (2000р.).

Хронометраж - 1 год. 00 хв. 31 сек. (1 част.)

1 год. 00 хв. 01 сек. (2 част.)

Концерт лауреата міжнародних конкурсів Наталії Ковальової за участю симфонічного оркестру "Інсо-Львів".

Диск М-0929

15. Літературно-музична композиція "Гайдамаки"(2014р.).

Хронометраж - 1 год. 17 хв. 13 сек.

Звучить літературно-музична композиція Тараса Шевченка "Гайдамаки" у виконанні Академічного симфонічного оркестру Львівської філармонії, Академічної чоловічої хорової капели України ім. Л. Ревуцького. Солісти: Анатолій Юрченко і Василь Путченко.

Диск М-1457

16. В шану Тарасові Шевченку. До 200-річчя від дня народження (2014р.).

Хронометраж - 51 хв. 51 сек. (1 част.); 50 хв. 01 сек. (2 част.)

Оперні співаки виконують пісні на слова Т. Шевченка у супроводі академічного симфонічного оркестру Львівської філармонії.

Диск М-1568

17. У колі муз. Симфонія-реквієм "Праведная душе"(2014р.).

Хронометраж - 1 год. 03 хв. 10 сек.

Світова прем'єра. Звучить симфонія-реквієм "Праведная душе" для солістів хору та симфонічного оркестру на вірші Тараса Шевченка. Виконавці: академічний симфонічний оркестр Львівської філармонії, Галицький академічний камерний хор. Солісти: Анастасія Корнутяк, Наталія Половинка, Олексій Кувітанов. Диригує Володимир Сивохіп.

Диск М-1660

18. У колі муз. До 200-ліття від дня народження Адольфа Сакса (2014р.).

Хронометраж - 51 хв. 20 сек. (1 част.)

52 хв. 43 сек. (2 част.)

У концерті беруть участь Клод Делангль – саксофон (Франція), академічний молодіжний симфонічний оркестр "INSO- Львів", Всеволод Полонський - диригент (Франція). Звучать твори Ж. Бізе, Д. Мійо, М. Равеля, М. де Фальї, А. П'яццолли.

Диск М-1661

19. У колі муз. Музика Голлівуду (2014р.).

Хронометраж - 54 хв. 08 сек. (1 част.)

55 хв. 50 сек. (2 част.)

Відомі мелодії Бродвейських мюзиклів виконує молодіжний академічний симфонічний оркестр "Inso-Львів". Солістка - Наталія Ковальова. Диригент - Станіслав Веляник.

Диск М-1663

20. У колі муз. Станіслав Людкевич. Кантата-симфонія (2014р.).

"Кавказ" на слова Тараса Шевченка

Хронометраж - 47 хв. 27 сек.

До 200-річчя від дня народження Тараса Шевченка. Хор і оркестр Львівського національного академічного театру опери та балету ім. С. Крушельницької виконують кантату-симфонію ”Кавказ”.

Диск М-1667

21. У колі муз. Гала Вагнер. До 200-річчя від дня народження композитора (2013р.).

Хронометраж - 1 год. 19 хв. 02 сек.

Вечір з вшанування Ріхарда Вагнера. Звучать його музичні твори у виконанні молодіжного академічного симфонічного оркестру "Inso - Львів". Солістка - Наталія Ковальова. Диригує Володимир Сивохіп.

Диск М-1667

22. У колі муз. Симфонічний оркестр "K&K Philharmoniker" (2016р.).

Хронометраж - 52 хв. 00 сек.

У виконанні симфонічного оркестру "K&K Philharmoniker" звучить музика Йоганна Штрауса.

Диск М-1668

23. У колі муз. Реквієм пам'яті жертв голодомору в Україні (2013р.).

Хронометраж - 45 хв. 15 сек.

Євген Станкович. "Панахида за померлими з голоду" на вірші Д. Павличка. Виконавці: народний голос - Ніна Матвієнко, читець - Василь Ілащук, бас – Назарій Дадак, академічний симфонічний оркестр Львівської філармонії, Галицький академічний камерний хор, мішаний хор Львівського державного музичного училища ім. С. Людкевича.

Диск М-1670

24. У колі муз. Третій Міжнародний фестиваль "Відкриваємо Падеревського" (2014р.).

Хронометраж - 49 хв. 33 сек.

Кшиштоф Пендерецький. CREDO. У концерті беруть участь Національна заслужена хорова капела України "Думка", академічний симфонічний оркестр "Inso - Львів", дитячий зразковий хор "Радуниця".

Диск М-1671

25. У колі муз. Третій Міжнародний фестиваль "Відкриваємо Падеревського" (2014р.).

Хронометраж - 36 хв. 54 сек.

Мирослав Скорик. Концерт для альта з оркестром. Прем'єрне виконання. Виконує молодіжний академічний симфонічний оркестр "Inso-Львів".

Диск М-1671

26. Станіслав Людкевич. Кантата-симфонія "Кавказ" (2014р.).

Хронометраж - 47 хв. 27 сек.

Концерт приурочений до 200-річчя від дня народження Тараса Шевченка. Хор і оркестр Львівського національного академічного театру опери та балету ім. С. Крушельницької виконують кантату-симфонію "Кавказ".

Диск М-1694

27. У мажорі та мінорі. Мирослав Скорик (2008р.).

№ рулона: 664

Хронометраж - 48 хв. 25 сек.

Творчий портрет народного артиста України М. Скорика (інтерв'ю з ним та відгуки про нього Миколи Колесси, М. Чайковської, Б. Которовича). Музику М. Скорика виконують камерний оркестр, хор ВМІ ім. М. Лисенка, симфонічний оркестр Львівської філармонії, симфонічний оркестр Національного телебачення та радіо. Якість середня.

Диск R-28

28. Концерт до 100-річчя від дня народження народного артиста СРСР, композитора Станіслава Людкевича (1979р.).

№ рулона: 01021

Хронометраж - 56 хв. 17 сек.

У концерті, який відбувався у Львівській філармонії, беруть участь: державна заслужена хорова капелла УРСР "Трембіта", хор оперної студії Львівської державної консерваторії ім. М. Лисенка, симфонічний оркестр Львівської філармонії. Якість погана.

Диск R-33

29. Літописець віку. Станіслав Людкевич (1979р.).

№ рулона: 01035

Хронометраж - 1 год. 09 хв. 23 сек.

Програма до 100-річчя від дня народження композитора С. Людкевича. Розмова у студії з композитором Миколою Колессою, письменницею Іриною Вільде, композитором Анатолієм Кос-Анатольським про творчість С. Людкевича. Звучать музичні твори композитора у виконанні заслуженої хорової капели УРСР "Трембіта", симфонічного оркестру Львівської філармонії, народного хору хлопчиків "Дударик", Павла Кармалюка, сестер Байко, Марії Крушельницької, Лідії Шутко.

Диск R-34

30. Ювілейний концерт, присвячений 50-річчю створення Львівського симфонічного оркестру. (1983р.).

№ рулона: 01201

Хронометраж - 44 хв. 01 сек.

У концерті звучать такі музичні твори: "Українська рапсодія" Василя Барвінського (диригує Ісаак Паїн), "Українська сюїта" Миколи Колесси (диригує автор), "Рондо юнаків" (диригує Роман Филипчук). Якість середня.

Диск R-38

31. Концерт з нагоди 90-річчя від дня народження Миколи Колесси (1993р.).

№ рулона: 825

Хронометраж – 32 хв. 47 сек. (1 част.)

34 хв. 31 сек. (2 част.)

У концерті звучать музичні твори Миколи Колесси у виконанні симфонічного оркестру Львівської філармонії. Диригує Іван Юзюк.

Диск R-45

32. Музичний вечір, присвячений творчості народного артиста УРСР Анатолія Кос-Анатольського з нагоди 80-річчя від дня народження (1998р.).

№ рулона: 410

Хронометраж - 1 год. 09 хв. 15 сек.

Звучать музичні твори у виконанні симфонічного оркестру Львівської філармонії. Солісти: Богдана Хітченко, Корнелій Сятецький, Степан Степан, Віра Колтун, Богдан Косопуд. Без кінцевих титрів. Якість середня.

Диск R-47

33. Концерт-закриття фестивалю Моцарта у Львові. В. А. Моцарт. Реквієм

№ рулона: 861

Хронометраж - 1 год. 07 хв. 48 сек. (1992р.).

Реквієм Моцарта виконують державна академічна хорова капела України "Думка", заслужена хорова капела України "Трембіта", симфонічний оркестр Львівської філармонії. Солісти: О. Басистюк, Г. Туфтіна, С. Стаховський (Польща), О. Громиш.

Диск R-49

34. Концерт, присвячений пам'яті Йосипа Сліпого

№ рулона: 01425

Хронометраж - 38 хв. 11 сек. (1992р.).

Звучать музичні твори у виконанні заслуженої хорової капели України "Трембіта", хору оперної студії Львівської державної консерваторії ім. М. Лисенка та симфонічного оркестру. Диригенти: Микола Кулик і Юрій Луців. Якість середня.

Диск R-62

35. Заповіт (2004р.).

№ рулона: 01425

Хронометраж - 19 хв. 35 сек.

За твором Т. Шевченка, музика - С. Людкевича. Виконують заслужена хорова капела України "Трембіта", хор оперної студії Львівської державної консерваторії ім. М. Лисенка і симфонічний оркестр. Солістка - Світлана Мамчур. Диригент - Юрій Луців.

Якість середня.

Диск R-62

36. Композитор Василь Барвінський (2008р.).

№ рулона: 365

Хронометраж - 24 хв. 25 сек.

Концерт для фортепіано з оркестром. Виконує симфонічний оркестр оперної студії ВДМІ ім. Миколи Лисенка. Диригент - Юрій Луців. Солістка – Марія Крушельницька. Якість середня.

Диск R-67

37. У мажорі та мінорі. Сторінки фестивалю "Віртуози" (1998р.).

№ рулона: 01348

Хронометраж - 51 хв. 22 сек.

У виконанні симфонічного оркестру Львівської філармонії звучить симфонія №5 П. Чайковського. Диригує Іван Юзюк. Ведуча концерту - Наталя Самотос. Якість середня.

Диск R-70

38. Овації. Гала-концерт Міжнародного музичного табору "Музика дитячого серця" (2016р.).

Хронометраж - 27 хв. 26 сек.

Звучать музичні твори у виконанні учнів львівських загальноосвітніх шкіл і Львівського симфонічного оркестру. Диригує Констанція Фортунато (США).

Диск М-1730

39. Овації. Академічний молодіжний симфонічний оркестр "INSO-Львів" (2011р.).

Хронометраж - 1 год. 06 хв. 21 сек.

Звучать мініатюри на грузинські народні теми, а також музичні твори Вольфанга Амадея Моцарта і Роберта Шумана у виконанні Академічного молодіжного симфонічного оркестру "INSO-Львів".

Диск М-1747

40. Урочиста академія з нагоди 150-ї річниці від дня народження митрополита Андрея Шептицького

Хронометраж - 2 год. 19 хв. 28 сек. (2015р.).

В урочистій академії беруть участь Президент України Петро Порошенко, глава УГКЦ Блаженніший Святослав. Звучить прем'єра ораторії Мирослава Волинського "Я тебе кличу" за текстами митрополита Андрея та Софії Фредро-Шептицької у виконанні зведеного хору та симфонічного оркестру Львівського національного академічного театру опери та балету ім.

С. Крушельницької та заслуженої академічної хорової капели "Трембіта". Диригент - Микола Кулик.

Диск М-1777

41. Урочиста академія з нагоди 150-ї річниці від дня народження митрополита Андрея Шептицького

Хронометраж - 58 хв. 05 сек. (1 част.)

1 год. 05 хв. 49 сек. (2 част.). (2015р.).

В урочистій академії беруть участь: Президент України Петро Порошенко, глава УГКЦ Блаженніший Святослав. Звучить прем'єра ораторії Мирослава Волинського "Я тебе кличу" за текстами митрополита Андрея та Софії Фредро-Шептицької у виконанні зведеного хору та симфонічного оркестру Львівського національного академічного театру опери та балету ім. С. Крушельницької та заслуженої академічної хорової капели "Трембіта". Диригент - Микола Кулик.

Диск М-1779

42. Святкова програма "Гала Україна"(2015р.).

Хронометраж - 1 год. 43 хв. 29 сек.

Святкова програма, присвячена 24-й річниці Незалежності України. У ній беруть участь: Олег Синютка, Ярослав Качмарик, Андрій Садовий. Твори українських композиторів виконують симфонічний оркестр "Інсо-Львів" Львівської обласної філармонії, Галицький академічний камерний хор, співачка Наталія Ковальова, скрипаль Євген Крук.

Диск М-1787

43. Балет-феєрія "Лускунчик" (2014р.).

Хронометраж - 49 хв. 31 сек. (1 част.).

50 хв. 47 сек. (2 част.)

Балет-феєрія "Лускунчик" за казкою Е.-Т.-А. Гофмана у виконанні акторів Львівського національного академічного театру опери та балету ім. Соломії Крушельницької.

Диск М-1470

44. У мажорі та мінорі. Співає Н. Дацко. (1998р.).

Хронометраж - 41 хв. 53 сек.

Концерт лауреата міжнародних конкурсів Наталії Дацко та камерного оркестру вищого музичного інституту імені М. Лисенка.

Диск М-1352

Архів радіо

1. 4964-А. Фестиваль «Віртуози музики» 28.00. Альфред Шнітке – «Кончерто-Гроссо». Вик.: лауреат міжнародних конкурсів Олег Криса – скрипка, Тетяна Грінченко – скрипка, Олексій Любимлв / партія чембало і підготованого ф-но, камерний орк. Литовської РСР. Дир. Нар. артист Литовської РСР Юозас Домаркас (90-і).

2. 4975-А. Фестиваль «Віртуози музики» зв. 33.00. Й. Брамс концерт для скрипки, віолончелі та ф-но. Вик.: лауреат міжнародних конкурсів Олег Криса – скрипка, Іван Монегетті – віолончель, Тетяна Чекіна ф-но. Симфонічний оркестр Львівської філармонії. Диригент Нар. артист Демян Пелехатий. (12.12.90).

3. 262742. Концерт О. Криси 40.00. В. А. Моцарт «Соната для скрипки і ф-но сі бемоль мінор» (в 3-х частинах), Й. Брамс «Соната для скрипки і ф-но» №2 (в 3-х частинах). Вик.: Олег Криса – скрипка, Тетяна Чекіна ф-но. (03.04.74).

4. 1710-А. Лауреати міжнародних конкурсів. Юрій Башмет – альт 41.00. Паганіні «Соната для альта і ф-но», Шостакович «Соната» (90-і).

5. 1033-А. Мусоргський – «Ніч на лисій горі». Грає симфонічний оркестр Львівської філармонії. Диригент - Нар. артист Литовської РСР Юозас Домаркас. Бела Барток – «Концерт для альта з оркестром». Соліст – лауреат міжнародних конкурсів Юрій Башмет. Симфонічний оркестр Львівської філармонії. Диригує лауреат конкурсу ім. І. Караяна Вахтанг Йорданія (90-і).

6. 20019. Звуч. 17хв. Грає Олег Криса з оркестром Львівської філармонії. Виконує II і III частини концерту для скрипки з оркестром П. І. Чайковського. (12.09.66, 08.08.69).

7. 10660. Звуч. 9.27хв. Бела Барток «Два румунські танці». Симфонічний оркестр Львівської філармонії. Диригент – І. Паїн. (14.02.64, 28.04. 65, 27.02.65).

8. 264668. Б. Лятошинський 30.00. Симфонія №4 (три частини). Симфонічний оркестр Львівської філармонії. Диригент – заслужений діяч мистецтв УРСР Ю.Луців. (17.04.75, 23.03.92).

9. 6166-А Л. Ревуцький. Симфонія №1. Симфонічний оркестр Львівської філармонії. Диригує Роман Філіпчук (90-і).

10. 264664. «в». зв. 32. Шимановський Концерт для скрипки з оркестром. Виконує заслужений артист РССФР Ігор Ойстрах та симфонічний оркестр Львівської філармонії. Диригент – заслужений діяч мистецтв УРСР Ю.Луців. Прокофьев – «Монтеккі і Капулетті». Симфонічний оркестр Львівської філармонії. Диригент – заслужений діяч мистецтв УРСР Ю.Луців. (11.04.75).

11. 6531. – А. 33.40. Академічний концерт Станіслава Савчука (випуск диригентського факультету ЛДК. Запис у квітні 1984 року по трансляції з залу Львівської обласної філармонії). Г. Перселл «Сюїта з 5-и частин». Д. Чімароза Увертюра до опери «Таємний шлюб». Моцарт увертюра до опери «Викрадення із Сераля».

12. 7058. 21.00. Бабаджанян «Героїчна балада». Автор і симфонічний оркестр Львівської філармонії. Диригент – Вадим Гнідаш. (12.12.63, 25.03 78).

13. 21650. Зв.16хв. Вечір камерної музики. Композитор Поль Дюва «Віланелла.» - виконує Георгій Колпак – валторна 6.45. Композитор – Ежен Баца –«У горах» 6.12. Сен-Санс – «Лебідь» (90-і).

14. 392-с. 1г.03.45. Концерт Ольги Басистюк і Саму їла Дайча. Запис по трансляції з будинку органної та камерної музики. (02.01.93).

15. 10169-А. І міжнародний фестиваль «Контрасти» (листопад 1995р.). А. Шнітке – Концерт для ф-но і струнних. Вик. Й. Єрмінь – ф-но,

кам. орк. BMI 23.15. Чарльз Айвз – вик. кам. орк. 2.10. «Щедрик» - кам. орк. 3.24.

16. 10169-А. IV міжнародний фестиваль «Контрасти». Авторський концерт Мирослава Скорика (до 60-річчя, 1989р.). «Шуміла Ліщинонька», «Хиляються ворота». Вик. Н. Матвієнко і кам. орк. BMI – 6.20. Концерт для ф-но з оркестром №3. – вик.: М. Скорик ф-но і кам. орк. BMI – 24.00. ДИПТИХ. - кам. орк. BMI – 7.00.

17. 10350 – А. Перший міжнародний фестиваль «Контрасти» (27.X – 5.XI 1995р.). М. Скорик – концерт для віолончелі з оркестром – вик.: засл. арт. України М. Чайковська, Симфонічний оркестр Львівської філармонії. Диригент – Р. Ревакович – 15.00. Арно П’ят – «Арлос» вик.: симфонічний оркестр Львівської філармонії. Диригент – Р. Ревакович – 4.00.