

УДК 785.534 4

СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ ПРОСТОРОВОГО ЗВУКОВОГО ОБРАЗУ (НА ПРИКЛАДІ КОНЦЕРТНОЇ ЗАЛИ)

Войтович Олександр Орестович – кандидат мистецтвознавства, старший викладач кафедри джазу та популярної музики, Львівська національна музична академія ім. М. В. Лисенка, м. Львів
<http://orcid.org/0000-0001-9885-7173>
<https://doi.org/10.35619/ucp.mk.v38i.477>
acoconcert_lviv@ukr.net

Запропоновано один із способів створення моделі просторового звукового образу для оцінки акустичних властивостей діючих та проектних концертних зал. Розглянуто методи моделювання та вибрано метод комп'ютерної симуляції їх акустичного середовища. Для створення моделі обрано діючу концертну залу. Підібрано комп'ютерне програмне забезпечення, за допомогою якого моделюються акустичні властивості концертної зали, та створюється модель звучання музичного матеріалу в даному просторі. Для комп'ютерної симуляції описано умови створення аудіо файлу. Запропоновано метод суб'єктивної оцінки звучання музичного матеріалу за допомогою вагомих критеріїв встановленого зразка для естетичної оцінки результатів моделювання. Результати симуляції порівняно із звучанням музичного матеріалу в діючій концертній залі. Описано геометричні та акустичні умови прослуховування створених аудіо файлів експертними групами. На основі отриманих результатів сформульовано труднощі, які виникають під час комп'ютерної симуляції акустичного середовища та запропоновано моделювання як перспективний напрямок в дослідженні акустики діючих та проектних концертних зал. Намічені подальші напрями досліджень.

Ключові слова: модель, симуляція, просторовий звуковий образ, об'єктивні параметри, суб'єктивна оцінка, критерії оцінювання, концертна зала.

Постановка проблеми. Під час звучання музики акустика концертних зал має безпосередній вплив на формування просторового звукового образу. Архітектурні особливості, інтер'єр, оздоблення формують у замкнутому середовищі концертної зали під час звучання музики, звукове поле [1; 65]. Акустичні характеристики концертних зал поділяються на об'єктивні та суб'єктивні. Об'єктивні визначають акустичні властивості концертних зал, суб'єктивні – підпорядковані психоакустичним законам сприйняття людиною звукових коливань. Роль акустичних властивостей концертної зали має безпосередній вплив на формування просторового звукового образу та впливає на якість виконання та сприйняття музики та співу. Об'єктивні акустичні параметри не дають повної оцінки акустичним властивостям концертних зал. Для повної характеристики їх акустики додатково застосовують суб'єктивну оцінку за критеріями встановленого зразка [5; 30].

Науково-технічний прогрес впливає на активне впровадження новітніх технологій. Одним із перспективних напрямів на сучасному етапі є комп'ютерне моделювання акустики замкнутих приміщень. Його можна застосувати для оцінки акустичних властивостей діючих та проектних концертних зал. За допомогою спеціалізованого програмного забезпечення є можливість змоделювати акустичне середовище концертної зали. Програмне забезпечення має можливість повторити форму, будівельні матеріали, інтер'єр та оздоблення зразка концертної зали. Для порівняння акустичних властивостей моделі та діючої концертної зали береться звучання музичного матеріалу. В даному випадку потрібно використати запис музичного твору, бажано з класичного репертуару, що прозвучав у зразковій концертній залі та порівняти його звучання із звучанням цього ж твору в акустичному середовищі моделі. Естетична оцінка звучання музичного матеріалу проводиться за допомогою критеріїв встановленого зразка, що базується на суб'єктивному сприйнятті музики людиною.

Маючи таку методику можна моделювати акустику діючих та проектних концертних зал та давати рекомендації по її покращенню.

Мета статті – запропонувати методику створення моделі просторового звукового образу для естетичної оцінки акустичних властивостей концертних зал.

Наукова новизна – полягає у спробі запропонувати методику естетичної оцінки акустичних властивостей діючих та проектних концертних зал за допомогою моделювання їх акустичного середовища.

Огляд останніх досліджень та публікацій. Метод комп'ютерної симуляції використовувався під час досліджень багатьма ученими акустиками Schroeder M. R., Cox T., J. Kamisiński T. [9], помітний внесок у розробку програмного забезпечення здійснили Prof. Dr. Wolfgang Ahnert, Dr. Rainer Feistel, Притс Р., використання методів суб'єктивної оцінки Алдошина И.А., L. Beranek, Hoeg W., Walker C. [1], [5], [8], вагомий внесок в сферу суб'єктивного сприйняття зробили Л. Беранек [5], М. Баррон, акустичні дослідження вибраної зали належать Т. Камісінському, та Р. Кінашу [10].

Вклад матеріалу дослідження. Під час акустичних досліджень вчені акустики часто вдаються до моделювання акустичного середовища досліджуваних концертних зал [9]. В основному моделюють акустичне середовище, а його об'єктивні акустичні параметри порівнюють з однойменними вже діючих концертних зал.

Існує чимало методів моделювання фізичних явищ. Наприклад, у музичній акустиці може виконуватись моделювання з використанням масштабування. Під час нього створюється архітектурна модель об'єкту в масштабі з використанням заміників будівельних матеріалів, які мають ті самі властивості, що і оригінали. Вимірювальні величини також підлягають корекції. Наприклад, вимірювальні частоти звукових сигналів, відстані між джерелами та приймачами.

На сучасному етапі найбільшого застосування набрало моделювання за допомогою комп'ютерної симуляції фізичних процесів середовища¹. З його допомогою моделюється акустичне середовище та проводиться симуляція фізичних процесів акустики концертної зали.

У нашому випадку пропонується оригінальний метод, що базується на створенні аудіо файлу звучання музичного твору, обробленого за допомогою комп'ютерної програми, що імітує акустичне середовище концертної зали. Потім порівняти його звучання із звучанням цього ж музичного матеріалу, записаного в діючій концертній залі, взятій за зразок, та оцінити наскільки вони подібні за звучанням і в чому відрізняються.

Насамперед, потрібно створити модель для досліджень. За зразок взято вже діюча концертна зала Львівського будинку органної та камерної музики, що неодноразово використовувалася участь в наших попередніх дослідженнях [2], [10]. Умови моделювання:

Бічні стіни зали – мармурові плити висотою 3 м від підлоги – в меншій частині залу. Колони – по боках у більшій частині залу. Мармурові плити на бічних стінах мають висоту 1,5 м. Вище мармурової кладки – штукатурка. Задня стіна має форму трапеції. Підлога – пресовані та поліровані кам'яні плити. На сцені встановлений орган, позаду органні труби і троє дверей. Сценічна підлога – дерев'яні дошки. Глядацькі місця – тверді, не розділені з рухомими спинками. Сцена піднята відносно рівня партеру на висоту 1,2 м. По обидві сторони глядацьких місць колони. Геометричні розміри становлять: L (м) – довжина 35,15 м, B (м) – ширина 19,24 м, H (м) – висота 22 м.

Для моделювання процесів в замкнутому середовищі зали використано спеціалізоване програмне забезпечення EASE 4.3. Програма має секції для конструювання архітектурної моделі різних споруд, зокрема і сакральних, секції акустичних досліджень створених моделей, які мають можливість провести «ауралізацію» звучання аудіо матеріалу (можливість обробки аудіо матеріалу просторовим процесором, що імітує її акустичне середовище). Є можливість прослуховування звучання музичного матеріалу в моделюючому середовищі. Для конструювання архітектурної моделі дане програмне забезпечення в своєму арсеналі має широкий вибір зразків будівельних матеріалів та інтер'єру.

Після комп'ютерної симуляції за допомогою обраного програмного забезпечення створена модель максимально наближена по своїм характеристикам до оригіналу [10].

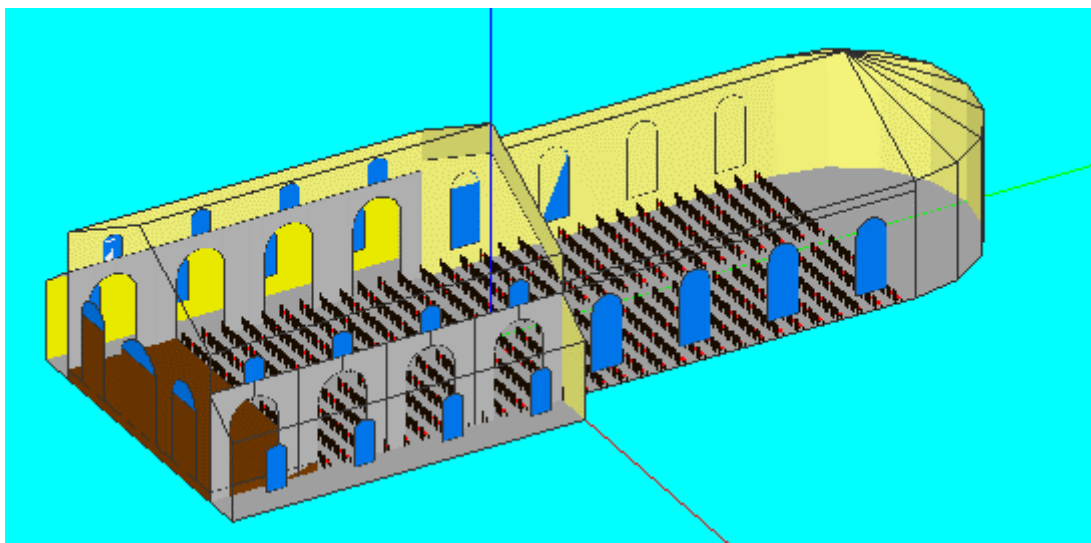


Рис. 1. Модель концертної зали

Порівнюючи об'єктивні акустичні параметри обох зал можна сказати, що вони максимально наближені один до одного. Так час реверберації (RT) ділової зали – 4,9 с., моделі – 5,1 с. Музична розбірливість (C_{80}) – 6,1 дБ., моделі – 5,9 дБ.

Для проведення комп'ютерної симуляції звучання музичного твору використовується його аудіо запис в середовищі в якому відсутні відбиті хвилі. Таке середовище називають – «вільне поле» [7; 27]. На практиці таке звучання отримують у професійних студіях звукозапису, де частка відбитих хвиль зведена до мінімуму, або в акустично заглушених камерах дослідницьких лабораторій. Параметри таких об'єктів нормуються згідно міжнародних вимог [4; 48].

Для досліджень обрано музичний твір «Антракт до 4-ї дії» з опери «Кармен» французького композитора доби романтизму Ж. Бізе. Даний твір має оркестрове виконання і за своїми темпоритмічним, динамічним, фактурним та тембровим характеристикам близький до звучання увертюри, яка використовувалася в наших попередніх дослідженнях [2]. Для даного дослідження був обраний варіант його виконання ансамблем кларнетистів. Ця інтерпретація за своїм звучанням значно відрізняється від однойменної частин даної опери в силу складу ансамблю (три кларнети in B, один бас кларнет in B). Його камерне звучання, що визначається динамікою та тембром, вписується в непросту акустику концертної зали. Дещо надмірна просторовість не занижує показники музичної розбірливості. Тембр звучання не перенасичений обертонами створеними акустичними особливостями концертної зали. Сформований просторовий звуковий образ відповідає візуальному сприйняттю під час живого виконання.

Для комп'ютерної симуляції був зроблений запис обраного твору в середовищі, вільному від відбитих хвиль. Після обробки просторовим процесором програми отриманий аудіо файл, в якому змодельоване звучання даного музичного твору в глядацькій залі, при звучанні джерела на сцені. Уявна записуюча мікрофонна система знаходилася в районі 5-го ряду. Для порівняння звучання також здійснено запис даного твору в тій же концертній залі при таких же налаштуваннях. Для запису використовувалась мікрофонна система типу ORTF stereo, що найбільш імітує сприйняття звучання слухачем [4; 69].

Оцінка проводилась за допомогою одинадцяти критеріїв (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) методом бальної оцінки шляхом анкетування [3]. Прослуховування здійснювалось групою експертів із числа звукорежисерів, композиторів, диригентів, музикантів, музичних критиків в умовах, що відповідають міжнародним встановленим нормам. До них належать геометричні та акустичні умови прослуховування, вимоги до технічних характеристик та розміщення контрольних моніторів, кількість експертів та їх розсадка для одночасного прослуховування. Так, допустимий час реверберації повинен знаходитись у межах 0.2 – 0.4 с у діапазоні 200 – 4000 Гц. Для геометричних умов прослуховування потрібно врахувати висоту гучномовця монітора, яка повинна бути не меншою за 1,2 м над рівнем підлоги, та кут нахилу його осі відносно горизонтальної площини, який не повинен перевищувати 10°. Вісь випромінювання монітора має перетинати місце прослуховування на висоті вух людини, що сидить. Для стереофонічного прослуховування два монітори розташовані в контрольній кімнаті повинні бути розміщені на відстані 2 – 4 м між собою. Розміри контрольної кімнати: мінімальна площа 40 м² для типових, і 30 м² – для високоякісних. Об'єм не повинен перевищувати 300 м³, кількість експертів для одночасного прослуховування – 6 [8].

Після систематизації результатів досліджень встановлено, що звучання обраного твору в моделюючому акустичному середовищі наближене до реальних умов. Завдяки вдалому вибраному музичному твору під час звучання створений ним просторовий звуковий образ задовольняв багатьом критеріям суб'єктивної оцінки. Такі критерії як прозорість звучання або музична розбірливість та просторовість отримали хорошу оцінку, і вважались максимально подібними між собою. Динамічний діапазон звучання максимально збігався і відповідав складу ансамблю. Близькість, присутність, звукові плани як і при запису (приблизно 5 ряд). Текстура звучання максимально подібна і відповідала звучанню в сакральній споруді. Звуковий баланс відповідав збалансованому звучанню квартету.

Щодо стереофонічного ефекту, то він не прослуховувався в обох випадках. Техніка мікрофонного прийому не мала особливих зауважень.

Незважаючи на дані позитивні відгуки в експертній групі виникли ряд зауважень до тембральних характеристик звучання, а саме: звучання дещо бідніше в моделюючому середовищі за рахунок недостатньої світлості верхнього частотного діапазону, а відчуття «обгортваності» звуком, за рахунок низькочастотної складової спектру, віддано експертами перевагу реальним умовам.

У результаті суб'єктивної оцінки можна вважати, що звучання музичного матеріалу в обох випадках, за виключенням незначних розбіжностей, максимально подібне між собою.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Під час створення моделі просторового звукового образу виникли ряд труднощів, що безпосередньо залежать від конструктивних особливостей модельованої концертної зали. Як правило не можна добитись абсолютної ідентичності форми діючої та змодельованої концертної зали. Особливі труднощі виникають при створенні ніш нерегулярних боксів, під балконних заглиблень, в яких монтуються акустичні панелі. Не завжди вибір будівельних матеріалів для моделі є в арсеналі симулятора програми. Значні труднощі виникають при створенні оздоблення концертної зали, особливо такі як дрібномасштабний орнамент, колони та статуї. Також не завжди можна в повній мірі змодельовати інтер'єр – наприклад крісла.

Незважаючи на усі труднощі та неточності перераховані вище, моделювання на даному етапі можна вважати перспективним напрямком акустичних досліджень за допомогою яких можна передбачити звучання музики в проектних концертних залах.

У подальших дослідженнях слід зосередитись на шляхах корекції акустики діючих концертних зал за допомогою моделювання їх акустичного середовища та створення просторового звукового образу.

Примітки

¹ Симуляція – це створення моделі реальної чи уявної системи і проведення над нею експериментів [6].

Список використаної літератури

1. Алдошина И. А., Притс Р. Музыкальная акустика. СПб. : Композитор, 2006. 720 с.
2. Войтович О. Естетична оцінка акустичних властивостей концертних зал (на прикладі порівняння звучання музичних творів). *Українська культура: минуле, сучасне, шляхи розвитку*: наук. зб. Рівнен. держ. гуманіт. ун-т. Рівне : РДГУ, 2020. Вип. 34. С. 88–93.
3. Войтович О. Критерії оцінки художньої якості звукового матеріалу в епоху цифрових технологій. *Українська культура: минуле, сучасне, шляхи розвитку*: наук. зап. Рівнен. держ. гуманіт. ун-ту: зб. наук. пр. Рівне : РДГУ, 2015. Вип. 21. С. 194–197.
4. Войтович О. Основи музичної звукорежисури. Львів : Вид-во Сорока Т.Б., 2021. 169 с.
5. Beranek L. (2004). *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*. New York: Springer, 2004. 661 p.
6. Encyclopedia of Computer Science. (2000). Grove's Dictionaries. New York:4thEdition. <http://www.modelbenders.com/encyclopedia/encyclopedia.html>.
7. Hansen C. (January 1951). Fundamentals of acoustics. *American Journal of Physics*. P. 23–52.
8. Hoeg W., Walker C. (Winter.. Subjective assessment of audio quality—the means and methods within the EBU. *EBU Technical Review*, 1997. P. 40–50.
9. Kamisiński T.. Acoustic Simulation and Experimental Studies of Theatres and Concert Halls. *Acoustic and Biomedical Engineering*, 2010. Vol. 118. P. 78–82.
10. Kinash R., Kamisinski T.. Zagadnienia pozalituragicznego uzytkowania kosciola pod wezwaniem sw. Marii Magdaleny we Lwowie Architectura sakralna w ksztaltowaniu tozsamosci kulturowej miejsca; Praca zbiorowa pod redakcja Elzbiety Przesmyckiej. Lublin, 2006. S. 379–391.

References

1. Aldoshina I. A., Prits R. *Muzykal'naya akustika*. SPb.: Kompozitor, 2006. 720. (in Russian).
2. Voitovych O.. Estetychna otsinka akustychnykh vlastyvostei kontsertnykh zal (na prykladi porivniannia zvuchannia muzychnykh tvoriv). *Ukrainska kultura: mynule, suchasne, shliakhy rozvytku: naukovyi zbirnyk Rivnenskoho derzhavnogo humanitarnoho universytetu: Zbirnyk naukovykh prats*. Rivne : PPDM, 2020. 34, 88–93. (in Ukrainian).
3. Voitovych O.. Kryterii otsinky khudozhnoi yakosti zvukovoho materialu v epokhu tsyfrovyykh tekhnolohii. *Ukrainska kultura: mynule, suchasne, shliakhy rozvytku: naukovi zapysky Rivnenskoho derzhavnogo humanitarnoho universytetu: Zbirnyk naukovykh prats*. Rivne: PPDM, 2015. 21, 194–197. (in Ukrainian).
4. Voitovych O. *Osnovy muzychnoi zvukorezhysury*. Lviv : Vydavnytstvo Soroka T.B, 2021. 169. (in Ukrainian).
5. Beranek L. *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*. New York: Springer, 2004. 661 p.
6. Encyclopedia of Computer Science. (2000). Grove's Dictionaries. New York:4thEdition. <http://www.modelbenders.com/encyclopedia/encyclopedia.html>.
7. Hansen C. (January 1951). Fundamentals of acoustics. *American Journal of Physics*, 1951. P. 23–52.
8. Hoeg W., Walker C. (Winter. Subjective assessment of audio quality—the means and methods within the EBU. *EBU Technical Review*, 1997. P. 40–50.
9. Kamisiński T. Acoustic Simulation and Experimental Studies of Theatres and Concert Halls. *Acoustic and Biomedical Engineering*, 2010. Vol. 118. P. 78–82.
10. Kinash R., Kamisinski T. *Zagadnienia pozalituragicznego uzytkowania kosciola pod wezwaniem sw. Marii Magdaleny we Lwowie Architectura sakralna w ksztaltowaniu tozsamosci kulturowej miejsca; Praca zbiorowa pod redakcja Elzbiety Przesmyckiej*. Lublin, 2006. 379–391 (in Polish).

CREATING A MODEL OF A SPATIAL SOUND IMAGE (ON THE EXAMPLE OF A CONCERT HALL)**Voitovych Oleksandr** – Candidate of Arts,Senior Lecturer of the Department of jazz and popular music,
Lviv National Music Academy. M. V. Lysenko, Lviv

This article proposes one of the ways to create a spatial sound image model for assessing the acoustic properties of existing and project concert halls. The methods of modeling are considered and the method of computer simulation of their acoustic environment is selected. An operating concert hall was chosen to create the model. Computer software has been selected that simulates the acoustic properties of a concert hall and creates a sound model of musical material in this enclosed space. For computer simulation, the conditions for creating an audio file are described. A method of subjective assessment of the sound of musical material using weighty criteria of the established sample for aesthetic assessment of the modeling results is proposed. The simulation results are compared with the sound of the musical material in the existing concert hall. The geometrical and acoustic conditions for listening to the created audio files by expert groups are described. On the basis of the results obtained, the difficulties arising in the computer simulation of the acoustic environment are formulated and modeling is proposed as a promising direction in the study of the acoustics of operating and project concert halls. Further directions of research are outlined.

Key words: model, simulation, spatial sound image, objective parameters, subjective evaluation, evaluation criteria, concert hall.

UDK 785.534 4**CREATING A MODEL OF A SPATIAL SOUND IMAGE (ON THE EXAMPLE OF A CONCERT HALL)****Voitovych Oleksandr** – Candidate of Arts,Senior Lecturer of the Department of jazz and popular music,
Lviv National Music Academy. M. V. Lysenko, Lviv

This article is devoted to the method of computer simulations acoustic environments and creating a spatial sound image model for assessing the acoustic properties of existing and project concert halls.

An operating concert hall was chosen to create the model. During the sound of music, the acoustics of concert halls have a direct impact on the formation of the spatial auditory image. Architectural features, interior, decoration form a sound field in the closed environment of the concert hall during the sound of music. The acoustic characteristics of concert halls are divided into objective and subjective. Objective determine the acoustic properties of concert halls, subjective – subject to the psychoacoustic laws of human perception of sound vibrations.

Scientific and technological progress affects the active introduction of new technologies. The methods of modeling are considered and the method of computer simulation of their acoustic environment is selected. It is one of the promising areas at the present stage of computer simulation of indoor acoustics. It can be used to assess the acoustic properties of existing concert halls and design. With the help of specialized software, it is possible to simulate the acoustic environment of the concert hall. The software has the ability to replicate the shape, building materials, interior and decoration of the sample concert hall. To compare the acoustic properties of the model and the current concert hall, the sound of the musical material is taken. In this case, use a recording of a piece of music, preferably from the classical repertoire, which sounded in an exemplary concert hall and compare its sound with the sound of the same work in the acoustic environment of the model.

A method of subjective assessment of the sound of musical material using weighty criteria of the established sample for aesthetic assessment of the modeling results is proposed. Aesthetic evaluation of the sound of musical material based on the subjective perception of music by human.

Having such a technique, you can model the acoustics of existing and project concert halls and give recommendations for its improvement.

Research methodology is determined by methods: analytical – in the study of scientific literature; theoretical – to define specific terminology, describe the phenomena that occur during the research, the parameters by which subjective assessment; empirical – when listening audio with expert evaluation of the results; comparative – in the process of comparing research results; methods of analysis and synthesis – to process research results.

The result of the research. The article proposes one of the methods of creating a spatial sound image by modeling the acoustic environment. The analysis of the results is based on an aesthetic comparison of audio examples that sound in the concert hall and its model, which is based on the subjective perception of the sound of musical material.

Modeling at this stage can be considered a promising area of acoustic research with which you can predict the sound of music in the design concert halls.

Scientific Novelty – is an attempt to propose a method of aesthetic evaluation of the acoustic properties of existing and design concert halls by modeling their acoustic environment.

The practical significance. Computer simulations is significant step in modeling acoustic environments. So, this methodology application can be recommended in scientific research.

Key words: model, simulation, spatial sound image, objective parameters, subjective evaluation, evaluation criteria, concert hall.

Надійшла до редакції 26.10.2021 р.