

УДК 534.84:[781.1+72](045)
DOI <https://doi.org/10.24919/2308-4863/93-1-22>

Наталія ДОМБРУГОВА,

orcid.org/0009-0007-1746-7888

*Заслужений працівник культури України,
завідувачка кафедри звукоінженерії*

*Київського національного університету театру, кіно і телебачення імені Івана Карпенка-Карого
(Київ, Україна) julia2kino@gmail.com*

АРХІТЕКТУРНА АКУСТИКА, ІСТОРІЯ ТА СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ

Статтю присвячено дослідженню науки акустика, а саме акустики в звукоінженерії та її історичному шляху. Завдання створення оптимального акустичного оформлення приміщень займалися з найдавніших часів. Незважаючи на те, що архітектурна акустика є однією з найстаріших дисциплін, до сих пір не вирішені деякі фундаментальні проблеми, серед яких відсутність єдиної теорії, яка б у повній мірі описувала всі акустичні процеси в приміщенні. На даний момент існують три теорії опису акустичних процесів: статистична, геометрична, хвильова. Дослідження виділяють наступні проблеми цієї галузі знань та застосування теорій у науці та техніці:

- слабкий ступінь формалізації акустики ускладнює створення відповідних моделей та методів для вирішення проблем, оцінку ступеня їх адекватності;
- відсутність єдиної точки зору на сфері застосування теорій опису акустичних процесів та їх методів;
- нечіткі рекомендації щодо акустичного проектування у чинних нормативних документах;
- формальне застосування програмного забезпечення для акустичного проектування приміщень різного призначення без урахування специфіки та обмежень, які накладаються використовуваними методами математичного та комп'ютерного моделювання.

У статті наведені три ланки, а саме: вимірювання, музичний твір у виконавській формі, історія акустичних досліджень у музичній науці. Вимірювання стосується музичного твору і розуміється досить широко, фактично як сторона сприйняття музики, поза якою інтонаційні смисли не існують. Шлях до пізнання музичного твору у виконавській формі неминуче лежить через акустичні дослідження, де вимірювання виконують фундаментальну роль нотування тексту та оформлення граматики виразних засобів. Зроблено спробу пояснити та аргументувати причини зниження інтенсивності вітчизняних досліджень музичного твору у звуковій формі майже до повного зникнення. З огляду на величезні можливості сучасних цифрових акустичних програм-редакторів це тим більш парадоксально на тлі розквіту музичної акустики в XX столітті, коли використовувалася складна аналогова апаратура. Звучання музичного твору – найважливіша і єдина об'єктивна онтологічна форма твору. У західній музикології інтерес до вивчення закономірностей виконавської форми твору значно зріс у XXI столітті. Акустичні тексти музичного твору містять непрямі дані про головний фінальний компонент системи твору – його існування у сприйнятті та музичній свідомості слухача.

Ключові слова: акустика, музична акустика, архітектурна акустика, моделювання, історія, онтологія, історія розвитку акустики.

Nataliia DOMBRUGOVA,

orcid.org/0009-0007-1746-7888

*Honored Worker of Culture of Ukraine,
Head of Sound Engineering Department*

*I.K. Karpenko-Karyi Kyiv National University of Theatre, Cinema and Television
(Kyiv Ukraine) dombrugovan.m@gmail.com*

ARCHITECTURAL ACOUSTICS, HISTORY AND CURRENT ISSUES

This article is devoted to the study of acoustics, namely acoustics in sound engineering and its historical development. The task of creating optimal acoustic design for rooms has been pursued since ancient times. Despite the fact that architectural acoustics is one of the oldest disciplines, some fundamental problems remain unresolved, including the lack of a unified theory that would fully describe all acoustic processes in a room. Currently, there are three theories describing acoustic processes: statistical, geometric, and wave.

Studies highlight the following problems in this field of knowledge and the application of theories in science and technology:

- the weak degree of formalization of acoustics complicates the creation of appropriate models and methods for solving problems and assessing their adequacy;
- the lack of a unified point of view on the areas of application of theories describing acoustic processes and their methods;

– *vague recommendations on acoustic design in current regulatory documents;*
– *the formal application of software for acoustic design of premises for various purposes without taking into account the specifics and limitations imposed by the methods of mathematical and computer modeling used.*

The article presents three links, namely: measurement, musical work in performance form, and the history of acoustic research in music science. Measurement relates to musical works and is understood quite broadly, in fact as a side of music perception, without which intonational meanings do not exist. The path to understanding a musical work in its performed form inevitably lies through acoustic research, where measurement plays a fundamental role in notating the text and formulating the grammar of expressive means. An attempt has been made to explain and argue the reasons for the decline in the intensity of domestic research into musical works in sound form to the point of almost complete disappearance. Given the enormous capabilities of modern digital acoustic editor programs, this is all the more paradoxical against the backdrop of the heyday of musical acoustics in the 20th century, when complex analogue equipment was used. The sound of a musical work is the most important and only objective ontological form of the work. In Western musicology, interest in studying the patterns of the performance form of a work has grown significantly in the 21st century. The acoustic texts of a musical work contain indirect data about the main final component of the work's system – its existence in the perception and musical consciousness of the listener.

Key words: *acoustics, musical acoustics, architectural acoustics, modeling, history, ontology, history of acoustics development.*

Постановка проблеми та актуальність дослідження. Аналіз літературних джерел показав, що наразі в вітчизняному науковому дискурсі існує дефіцит досліджень історичного значення науки акустика в цілому не тільки як з наукової, але й з культурологічної точки зору. Основною проблемою при цьому є слабкий ступінь формалізації даної предметної області та відсутність чітких інструкцій і рекомендацій по вивченню та дослідженню даної проблематики. Архітектурна акустика тісно з культурою досліджує взаємодію звуку та акустичних просторів, враховуючи фізичні закони, які передбачають, як звукові хвилі поширюються та сприймаються у різних приміщеннях.

Метою ж статті є дослідити архітектурну акустику, її історію та сучасні проблеми.

Завдання статті: Навести основні етапи розвитку науки архітектурна акустика. Показати, що протягом століть вчені та архітектори намагалися спільно вирішити проблеми резонансу, реверберації, відбиття та поглинання звуків, довести основні фактори, що впливають на вибір однієї з існуючих теорій опису акустичних процесів (статистичної та геометричної) та методів застосування кожної з них.

Аналіз сучасних досліджень і публікацій. Теоретичне узагальнення в даному питанні надали такі науковці і звукорежисери акустики як Лео Беранек (Leo Beranek), німецький акустик Манфред Шредер (Manfred Schroeder) та японський дослідник Такаюкі Хідака (Takayuki Hidak), Їхні праці становлять **наукове підґрунтя** дослідження. Специфіка історії розвитку акустики, привернула увагу й вітчизняних дослідників, таких як Войтович.О та Кінаш, ними був зроблений вклад в дослідження проблем архітектурної акустики, а саме в дослідженні акустичних аномалій, як зазначав Войтович.О, деякі приміщення можуть мати небажані особливості, такі як резонансні частоти, які можуть негативно впливати на якість звуку. Це може бути пов'язано з неправильною геометрією або матеріалами.

Наукова новизна дослідження полягає в проведеному дослідженні резонансу, реверберації, відбиття та поглинання звуків за допомогою компаративного та теоретичного та аналітичних методів в культурологічній площині, а також представлені результати онтологічного аналізу предметної області – основні фактори, що впливають на вибір однієї з існуючих теорій опису акустичних процесів (статистичної та геометричної) та методів застосування кожної з них.

Виклад основного матеріалу. Якщо перегорнути сторінки історії розвитку архітектурної акустики, можна виділити багато імен, які не забуваються навіть при самому стислому викладі історії. Роль цих людей в історії науки різна. З плином часу вони не лише не тьмяніють, а й займають все більш значуще місце в міру вивчення їхньої ролі в історії розвитку наукової думки. Наука архітектурна акустика, як і вся природнича наука, має глибоке коріння в давнині. Від давнини у спадок залишилися праці Арістотеля, а також роботи представників школи математичної фізики – Архімеда, пізніше Леонардо да Вінчі, Нікколо Тарталі та Джероламо Кардано, і, звичайно, їхнього послідовника Галілео Галілея. Галілей розвинув метод геометричних побудов Архімеда, розвинув питання акустики, основу яких заклав Леонардо да Вінчі. У цій області Галілей зробив багато відкриттів. До таких відкриттів належить: встановлення залежності між очевидною висотою тону та частотою звукових коливань, зокрема чисельне визначення таких музичних термінів, як октава та квінта; встановлення залежності між частотою звучання струни та її основними характеристиками; розробка методів вимірювання частоти коливань та встановлення чисельних співвідношень для таких чисто фізіологічних факторів, як консонанс і дисонанс. Всі ці питання, вперше розроблені Галілеєм, створили нову галузь фізики – вчення про звукові коливання, які згодом стали основою будівельної та архітектурної акустики.

Історія розвитку акустики приміщень базується на будові грецьких і римських відкритих театрів. У м'якому кліматі Південної Європи аудиторія мала відкритий тип і завжди вдало розташовувалась на спокійному місці, подалі від руху та шуму міста. Перші аудиторії представляли собою групу слухачів, що стояли навколо оратора, при цьому всі вони розміщувалися на рівній або майже рівній площадці. Перший крок у розвитку аудиторії полягав просто в тому, щоб розташувати оратора на піднятій платформі. Потім відбувалася установка місць для слухачів із підняттям більш віддалених рядів. Такі ранні починання досягли вершини розвитку у добре відомих грецьких і римських відкритих театрах. Класичні відкриті театри Греції та Риму, як показує саме назва «театр» (грецькою *Θέατρον* – місце, щоб бачити), спочатку були скоріше місцем для того, щоб бачити, ніж слухати. Переваги та недоліки цих театрів можна оцінювати, вивчаючи їхні руїни. Найсуттєвішою перевагою античних театрів є відсутність стін і стелі, що позбавляє їх таких звичних недоліків, як ехо, реверберація та запізнілі відлуння. Звук досягає слухача незмінним і зберігає всю красу та природність виконання на сцені. Але й найсуттєвіший недолік цих аудиторій також пов'язаний з відсутністю стін і стелі, оскільки вся звукова енергія, яка в іншому випадку відбилася б від їхніх поверхонь, втрачається і не може бути використана.

Втрати звуку зменшують інтенсивність для найвіддаленіших місць аудиторії до такого ступеня, що слухати мову стає важко або зовсім неможливо, а у випадку музики втрата енергії, так само як і вплив запізнілих відбиттів, зменшує багатство й повноту тональної якості. Розташування місць концентричними півколами навколо сцени та нахил глядацької площадки показують спроби греків і римлян забезпечити достатню кількість енергії для всіх слухачів. Природа акустичних проблем, що виникли в античних театрах, та успіх у їхньому вирішенні, описані у відомих «Десяти книгах з архітектури» Вітрувія. Наприклад, цитата Вітрувія дуже повчальна щодо опису практики античних архітекторів у акустичній побудові грецьких і римських театрів, а також у передбаченні конструкції сучасних відкритих театрів: «Особливу увагу необхідно, отже, варто звернути увагу на те, щоб місце було не глухим, а таким, де голос звучав би найчіткіше. Це можна досягти вибором місця яке ізольовано від ехо». Однак давні греки усвідомлювали той факт, що потужність середнього голосу була недостатньою для чіткого чути у всіх частинах театрів, місткість яких іноді досягала 20 тис. слухачів. Згідно з Вітрувієм, робилися спроби збільшити потужність голосу за допомогою застосування гармонік

(слово «гармоніка», ймовірно, означає резонанс). Ця властивість резонансу здійснювалась, як пише Аристоксен, розміщенням великої кількості бронзових судин у формі резонаторів у правильно розташованих по всьому театру нішах. У великих театрах встановлювали три горизонтальні ряди резонаторів. Ще одна деталь показує, що греки розуміли недостатність сили голосу середнього оратора. Це видно з використання артистами на сцені дуже великих масок, які не лише підкреслювали риси обличчя, щоб їх можна було бачити з найбільш віддалених місць, але їм також надавали форму, метою якої було збільшення гучності голосу рупорним ефектом рота.

Класичний відкритий театр греків і римлян був заснований на низці основних чинників щодо поведінки звуку в відкритому просторі, що підтверджується роботами Вітрувія. Поширення цивілізації в менш помірному кліматі Центральної та Північної Європи спричинило необхідність оточити аудиторію стінами та стелею. Ці закриті аудиторії дозволили впровадити багаторівневі балкони, які виконували подвійне призначення: для розміщення слухачів поблизу сцени та для розміщення відносно великої кількості людей на невеликій площі. Близькість публіки до сцени, а також корисні відбиття від стін та стелі забезпечували гучність мови, цілком достатню для аудиторії, що вміщує менше ніж 2000 осіб. При проектуванні концертних залів, театрів та лекційних аудиторій не можна не згадати про форму та пропорції приміщення. Протягом століть йшли пошуки ідеальної форми залу, яка могла б відповідати двом факторам: найкращій акустиці та найбільшому полю зору. Граф Франческо (Італія, 1712–1764) розробив типи та прийоми форм залу, найбільш вигідні з акустичної точки зору, і за зразком цих форм були зведені театри не лише в Італії, а й в Англії та Франції. Багато видатних будівельників театрів рекомендували для всіх аудиторій еліптичну форму, вважаючи, що форма залу може гарантувати акустичний успіх. Форма приміщення в правильно розрахованому залі не грає жодної ролі, бо не існує такої форми, яка могла б гарантувати акустичний успіх, а також не існує такої форми, акустичні недоліки якої не могли б бути передбачені. Розвиток просторих приміщень з кам'яною або мармуровою обробкою, пристосованих для відносно невеликих аудиторій (слухачів), створював численні акустичні труднощі. Але вони стимулювали інтерес до вивчення акустики, що привернуло увагу ряду дослідників XIX століття.

Розвиток архітектурної акустики у Північній Європі розпочався з вивчення численних відбиттів звуку у закритих приміщеннях. Прогрес був незначним до початку XIX ст., коли були зроблені спроби розробити та спроектувати такі архітек-

турні форми, які давали б корисне відбиття звуку у напрямку до слухачів. Це було проблемою геометричної акустики, обмеженої майже виключно вивченням променів відбитого звуку у приміщенні, і мало на меті посилити відбивання звуку, що досягає слухача. Внаслідок цього у багатьох закритих аудиторіях застосовувалися резонатори, головним чином параболическої форми, з метою спрямувати достатню кількість звукової енергії до найбільш віддалених слухачів. Але, як показав досвід, застосування резонаторів або спеціально сконструйованих поверхонь, розташованих над оратором або позаду нього, виявилось недостатнім для забезпечення умов доброї чутності в аудиторіях. Належне відбиття звуку або навіть застосування достатньо великих кількостей звукової енергії не було і не є досконалим засобом для усунення акустичних недоліків приміщення. Одним із перших, хто зрозумів цей факт і висловив більш загальну точку зору щодо акустичної проблеми закритого приміщення, був Дж. Б. Уфам, доктор медицини з Бостона, який ще у 1853 р. дав досить ясне пояснення як реверберації, так і резонансу в аудиторіях – явищ, що займають основне місце в архітектурній акустиці. Він зрозумів, що реверберація повинна бути достатньо зменшена, а резонанс ретельно збережений. Було проведено ряд дослідів у головній залі Бостонського мюзик-холу, у яких він змінював м'які та тверді шари штукатурки на стінах і стелі, порівнював акустичні характеристики зали з м'якими та жорсткими кріслами, використовував драпірування та завіси на вікнах, килими на балконах. Відомий американський фізик Джозеф Генрі у 1854 і 1856 рр. прочитав ряд доповідей про акустику приміщень (в Американському товаристві заохочення науки), у яких він науково розібрав такі важливі проблеми, як природа мови та слуху, акустика відкритих приміщень, форма закритих приміщень, ехо, реверберація та резонанс. Багато з його висновків ґрунтуються на дослідях і спостереженнях. Головна наукова робота з цієї проблеми була розпочата та розвинута професором Гарвардського університету У. К. Себіном. Роботи Себіна, починаючи з 1895 р., започаткували нову еру в розвитку архітектурної акустики. Усі дослідження до нього носили якісний характер. У. К. Себін перший ввів кількісні характеристики в акустиці приміщень. Професор Себін перший звернув увагу на залежність якості звуку від тривалості його відлуння та вперше ввів термін «реверберація». Він встановив, що реверберація в будь-якому приміщенні може сильно змінюватися залежно від умов поглинання звуку. Численні будівлі були спроектовані та побудовані відповідно до теорії У. К. Себіна відразу після публікації результатів його роботи,

але більшість архітекторів дуже повільно визнавали та застосовували його теорію. Працівники науки також повільно продовжували його роботу, і лише в 1930-х роках до знайдених ним результатів були зроблені цінні доповнення американцями І. Б. Крендаллом (1922) та В. О. Кнудсеном (1936) (Войтович, 2015: 215), а в області електроакустики – Олсоном і Масом (1934) (Кінаш, 2008: 203). Час реверберації тривалий час був єдиним точним критерієм для оцінки акустичних якостей приміщень. Він і сьогодні ще зберігає першочергове значення, незважаючи на появу ряду нових критеріїв.

Дослідження у сфері створення інтелектуальних систем для підбору оптимальних обчислювальних моделей в акустиці залишаються актуальними і до сьогодні. Одна з перших спроб формалізувати акустичні правила та отримати акустичні і фонетичні знання, які будуть використовуватися в акустико-фонетичному розшифруванні, була здійснена в (Arias, 2013: 25). З точки зору архітектурної акустики створення багатофункціональних приміщень з адаптивною акустикою викликає великі труднощі, оскільки рекомендації щодо акустичного проектування приміщень з різним призначенням можуть суперечити одна одній. Спроби створити інтелектуальне рішення, яке дозволить вирішити проблему пошуку оптимального часу реверберації, описані в (Ballou, 2015: 568). У статті пропонується використання акустичних параметрів приміщення, отриманих з мовлення або музики, для визначення кількості додаткової реверберації. Цей параметр необхідний для досягнення потрібних акустичних характеристик, оскільки оптимальний час реверберації для приміщень з різними параметрами та призначенням різний. Проте найбільш поширене застосування методів штучного інтелекту з метою підвищення точності розрахунків за рахунок врахування нелінійних залежностей, що особливо актуально для складних середовищ (Knopporow, 1985: 559). Таким чином, можна говорити про те, що процес прогнозного та аналітичного дослідження акустичного поля пов'язаний з великою кількістю складнощів і невизначеностей ще на етапі вибору основоположної теорії опису акустичних процесів та методів їх моделювання. На даний момент розроблено безліч обчислювальних моделей, проте на практиці виникають суперечності у рекомендаціях щодо використання моделей на різних частотах. Причини переваги однієї моделі над іншою настільки взаємопов'язані та різноманітні, що спиратися на один критерій не представляється доцільним. Тому створення системи підтримки прийняття рішень, що дозволяє полегшити цей вибір, є актуальним завданням. Для цього необхідно вирішити низку підзадач: аналіз пред-

метної області для складання глосарію термінів та зв'язків між ними; виявлення факторів, що впливають на вибір акустичної теорії; запис їх у вигляді аксіом – тверджень в логічній формі, які постулюють взаємозв'язок між поняттями та відносинами.

Для вирішення сучасних завдань акустичного оформлення найчастіше використовуються статична та геометрична теорії, оскільки використання хвильової теорії пов'язане з розв'язанням диференціальних рівнянь стану звукового поля в приміщенні, що є обчислювально трудомістким процесом. Також відсутність чітких принципів теорії та єдиного уявлення про сферу застосування значно ускладнює процес впровадження. Тому були виділені фактори, що впливають на вибір теорії опису акустичних процесів – статистичної та геометричної. Основними визначальними факторами, що впливають на вибір теорії опису акустичних процесів, є:

характеристики приміщення: форма, розмір, призначення, використовувані матеріали;

– характеристики джерела: положення, його характеристика спрямованості та амплітудно-часотна характеристика;

– аналізовані процеси.

У статистичній теорії приміщення розглядається у вигляді прямокутного паралелепіпеда з розмірами, близькими до золотого перерізу. Для приміщення більш складної форми результати розрахунків можуть виявитися неточними (Okano, 1995: 385). Під складною формою приміщення мається на увазі увігнуте багатокутне планування, а також форми, що мають закруглення, оскільки подібні поверхні можуть як розсіювати, так і концентрувати звук, що створює області з нерівномірним розподілом енергії.

Для приміщень, де має значення чіткість звучання мови, суттєву роль відіграють ранні відбиття, які підсилюють прямий звук, якщо надходять протягом певного часу. Ці відбиття не враховує статистична теорія, яка приділяє більше уваги стаціонарному процесу (процесу встановлених коливань).

Матеріали поверхонь приміщення визначальним чином впливають на його акустичні характеристики, оскільки від властивостей матеріалу залежить коефіцієнт поглинання – відношення звукової енергії, поглинутої одиницею площі поверхні, до енергії звукових хвиль, що падають на цю одиницю площі (Zwicker, 1999: 410). Якщо використовуються матеріали з високим коефіцієнтом, звук затухає порівняно швидко, зменшується частка ехо. Оскільки в приміщенні можуть використовуватися різні матеріали, можуть створюватися області нерівномірного розподілу звукової енергії. Для статистичної теорії дифузність поля є необхідною умовою їх застосовності. Якщо ця

умова не дотримується, для аналізу необхідно використовувати методи геометричної теорії.

Висновки. Після проведеного аналізу можна визначити, що архітектурна акустика, що ґрунтується на фізичних принципах, відіграє ключову роль у створенні комфортних просторів. Розуміння взаємодії звуку з архітектурними елементами дозволяє створювати умови для оптимального звучання та мінімізації зовнішніх шумів. Архітектурна акустика – це наука, яка вивчає звукові явища в закритих і відкритих просторах, а також методи їх проектування. Якісна акустика впливає не тільки на сприйняття звуку, а й на функціональність приміщень. Правильне проектування акустичних характеристик дозволяє запобігти ехо, зовнішньому шуму та іншим непередбачуваним акустичним ефектам, що сприяє кращому сприйняттю інформації та підвищенню якості життя. Сучасні підходи до архітектурної акустики вимагають інтеграції знань з різних галузей: фізики, психології, інженерії та архітектури. Аналіз публікацій, присвячених методам моделювання поширення звукових хвиль та використанню інтелектуальних систем у сфері акустики, показав, що на даний час впровадження методів штучного інтелекту хоч і покращує точність методів і моделей, але не дозволяє застосовувати їх повсюдно. Таким чином, перед фахівцями предметної області все ще стоять завдання вибору теорії опису акустичних процесів і методів у рамках цих теорій з урахуванням специфіки приміщення. Оскільки кількість факторів, що впливають на вибір акустичної теорії та методів всередині неї, досить велика, створення систем підтримки прийняття рішень є виправданим, оскільки це дозволить звільнити фахівців від деяких рутинних, але трудомістких завдань. Також така система дозволить підвищити точність прийнятих рішень щодо вибору стратегії моделювання, оскільки логічні висновки будуються на основі узагальнених знань про предметну область та досвіду експертів. У статті описані створені алгоритми прийняття рішення щодо використовуваної математичної моделі та методів моделювання поширення акустичного поля з урахуванням параметрів моделі приміщення та вимог до ефективності. Експериментально показано адекватність побудованих онтологічних моделей очікуванням у предметній області «Архітектурна акустика». Подані в статті алгоритми прийняття рішень також можуть бути використані в інших областях акустики, таких як гідроакустика, та в суміжних сферах, наприклад, поширення радіохвиль. При моделюванні поширення звуку використовувався гібридний метод, заснований на трасуванні променів, що збігається з логічним висновком. Також системний аналіз запропонував

використовувати інші методи трасування: трасування пучка, оскільки сфери застосування методів групи трасування здебільшого збігаються, а саме найефективніше можуть використовуватися для нескладних приміщень, у яких немає вигнутих поверхонь.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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.
2. Войтович О. Об'єктивні параметри та їх суб'єктивні кореляти в оцінці акустики концертних залів. Наукові збірники Львівської національної музичної академії ім. М.В.Лисенка. Музикознавчі студії – 2015: збірка статей. Львів, 2015. Вип. 36. С. 213–226.
3. 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.
4. Ahnert W., Schmidt W. Fundamentals to perform acoustical measurements. Appendix to EASERA. 53 p.
5. 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.
6. Ballou G. Handbook for Sound Engineers. Focal Press, 2015. 1784 p.
7. Barron M. Auditorium Acoustics and Architectural Design. Second Edition. Spon Press, London and New York, 2010. 481 p.
8. 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.
9. 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.
10. Okano T. Psychoacoustic experiment to determine the influence of Interaural 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.
11. Sabine W. Collected Papers on Acoustics. Harvard University Press. Reimpresión Dover, 1922. 1964. 308 p.
12. 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.
13. Zwicker E., Fast H. Psychoacoustics: Facts and Models. New York: Springer, 1999. 416 p.

REFERENCES

1. Voitovych O. (2015) Kryterii otsinky khudozhnoi yakosti zvukovoho materialu v epokhu tsyfrovyykh tekhnolohii. [Criteria for assessing the artistic quality of sound material in the era of digital technologies] Ukrainska kultura: mynule, suchasne, shliakhy rozvytku: naukovi zapysky Rivnenskoho derzhavnoho humanitarnoho universytetu: Zbirnyk naukovykh prats. Rivne: PPDМ. Vyp. 21. S. 194–197. [in Ukrainian].
2. Voitovych O. (2015) Obiektivni parametry ta yikh subiektivni koreliaty v otsyntsi akustyky kontsertnykh zaliv. [Objective parameters and their subjective correlates in the assessment of concert hall acoustics] Naukovi zbirkky Lvivskoi natsionalnoi muzychnoi akademii im. M.V.Lysenka. Muzykoznavchi studii zbirka statei. Lviv. Vyp. 36. S. 213–226. [in Ukrainian].
3. Kinash R.I. (2008) Analiz akustyky teatru imeni Marii Zankovetskoi u Lvovi na pidstavi fotohrammetrychnykh ta akustychnykh vymiriuvan. [Analysis of the acoustics of the Maria Zankovetska Theater in Lviv based on photogrammetric and acoustic measurements] Kinash R.I., Kamisinskyi T., Vachko A. Visn. Nats. un-tu “Lviv. politekhnika”. № 632. s. 202–206. [in Ukrainian].
4. Ahnert W., Schmidt W. Fundamentals to perform acoustical measurements. Appendix to EASERA. 53 p.
5. Arias A. Y. (2013) Acoustical parameters comparison of two halls: “Teatro Argentino de La Plata” and “Teatro Margarita Xirgu”. Acoustics Instruments and Measurements. p. 1–27.
6. Ballou G. (2015) Handbook for Sound Engineers. Focal Press. 1784 p.
7. Barron M. (2010) Auditorium Acoustics and Architectural Design. Second Edition. Spon Press, London and New York. 481 p.
8. Knoppow R. A. (1985) Bibliography of the Relevant Literature on the Subject of Microphones. Journal of the Audio Engineering Society. V 33 no. 7/8. p. 557–561.
9. Koshigoe S. A., Takahashi S. (1976) Consideration on Sound Localization. Preprint No. 1132 (L9), paper presented at the Audio Engineering Society 54th convention.
10. Okano T. (1995) Psychoacoustic experiment to determine the influence of Interaural 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. V. 41. no. 4–6. p. 629.
11. Sabine W. (1964) Collected Papers on Acoustics. Harvard University Press. Reimpresión Dover. 308 p.
12. Zwicker E., Zwicker T. (1991) Audio Engineering and Psychoacoustics: Matching Signals to the Final Receiver, the Human Auditory System. Journal of Audio Engineering Society. Vol. 39. No. 3. March. p. 115–126.
13. Zwicker E., Fast H. (1999) Psychoacoustics: Facts and Models. New York: Springer. 416 p.

Дата першого надходження рукопису до видання: 03.11.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 10.12.2025

Дата публікації: 30.12.2025