

ОБ'ЄКТИВНІ ПАРАМЕТРИ ТА ЇХ СУБ'ЄКТИВНІ КОРЕЛЯТИ В ОЦІНЦІ АКУСТИКИ КОНЦЕРТНИХ ЗАЛІВ

У статті йдеться про способи та методи оцінки якісних характеристик акустики концертних залів та встановлення взаємозв'язків між об'єктивними параметрами геометричних та фізичних характеристик концертних залів та суб'єктивною оцінкою якості звучання музики в цих залах за встановленими критеріями.

Ключові слова: об'єктивні параметри, суб'єктивні критерії, акустика, звукові хвилі, дифузне поле, реверберація.

Архітектурні традиції концертних залів, сягають глибоких античних часів. Ще творцям перших амфітеатрів було досконало відомо про вплив характеристик приміщення на якість відтворення та сприйняття звуку. За період своєї еволюції людство створило багато мистецьких шедеврів. Постійний потяг до вдосконалення втілювався в архітектурних формах, які повинні були забезпечити найкращий контакт слухача з виконавцем. Музично-виконавська практика виявила величезну роль акустичних властивостей приміщення в процесі формування слухового образу.

У перших грецьких та римських амфітеатрах глядачі розташовувались півколом на поступово підвищуваних рівнях. Така форма забезпечувала доступ прямих звукових променів у всі точки амфітеатру. Кам'яна кладка за сценою зводилась для додаткового відбивання звуків. Прикладом може стати знаменитий «Колізей»¹ – найбільший амфітеатр Стародавнього Риму, символ імператорської могутності.

В XVI столітті в Італії з'явилися закриті амфітеатри (театр Олімпіко, театр Фарнезе в Пармо та ін.). Їх форма нагадувала відкритий амфітеатр, але зал став закритим і подовженим, також з'явилась авансцена. Подальше будівництво оперних театрів додало багатоярусність та балкони, зберігаючи первинні класичні форми. Таку форму

¹ Колізей – лат. *Colosseum*; раніша назва *Amphitheatrum Flavium* – Амфітеатр Флавіїв. Його будівництво було закінчено у 80 р. н. е.

називають підковоподібною (horseshoe-shaped plan). Вона створює всередині оперного театру хороше дифузне поле.

Відтоді, за більш, як чотири століття, вимоги до акустики оперних театрів і концертних залів практично не змінилися. Очевидно, що на акустику концертних залів мають безпосередній вплив їх фізичні розміри: об'єм, площа поверхні, кількість місць, а також звукопоглинаючі матеріали, використані при будівництві і декорації залу.

Сьогодні 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.

Дослідження (і подальше корегування) акустики концертних залів почалося з відкриття явища реверберації та уведенням в наукову практику величини часу реверберації Уоллесом Клементом Сабіном² в 1922 році. Пізніше дослідженнями у сфері архітектурної акустики, зокрема акустики концертних залів займалися різні групи вчених. Серед них, зокрема, представники дрезденської³, гетінгенської⁴, японської⁵ шкіл, а також акустики Ендо (Ando), Барон (Baron), Веранек (Beranek), Фрайк (Fricke), Гайд (Gade), Хаан (Haan), Маршал (Marshall), Кале (Kahle), Фаріна (Farina). Іспанські вчені з університетів Каталонії, Наварри, Севільї та Валенсії, вивчали кореляції між об'єктивними параметрами та суб'єктивними відчуттями у слухачів [6].

В українській науці практично відсутні дослідження з акустики концертних приміщень, що й зумовлює **актуальність** нашого дослідження.

Об'єктом дослідження є акустичні властивості концертних залів.

Предметом дослідження – об'єктивні та суб'єктивні акустичні параметри.

² Уоллес Клемент Сабін (Wallace Clement Sabine) – американський фізик, який започаткував дослідження у сфері архітектурної акустики.

³ Рейхардт (Reichardt), Шмідт (Schmidt), Шульц (Shultz), Кремер (Cremer), Кюрер (Kürer).

⁴ Готтлоб (Gottlob), Сієбрасс (Siebrasse), Ейшольдт (Eysholdt), Шрьодер (Schroeder).

⁵ Хідака (Hidaka), Маєкава (Maekawa), Морімото (Morimoto), Окано (Okano).

Мета публікації – систематизувати результати досліджень про об’єктивні та суб’єктивні параметри акустики концертних приміщень та виявити зв’язки (кореляції) між ними.

Основні завдання:

- визначити та описати об’єктивні та суб’єктивні акустичні параметри;
- скласти перелік параметрів по яких буде проводитись експертна оцінка;
- виявити зв’язки (кореляції) між об’єктивними параметрами та суб’єктивними акустичними оцінками.

До об’єктивних параметрів оцінки акустики залу належать: реверберація, час ранніх відбиттів, рівень басу, відношення ранньої / ревербераційної енергії, усереднене в смугах 500, 1000 і 2000 Гц, два силових коефіцієнти, усереднені в смугах 125 і 250 Гц, та 500, 1000 і 2000 Гц, коефіцієнт внутрішньослухової кроскореляції, час між приходом прямого сигналу та появою перших відбиттів.

Реверберацією називається процес затухання відбитих звукових хвиль. Час, за який відбувається затухання, називають часом реверберації. Позначається RT (Reverberation Time), вимірюється в секундах.

Стандартний час реверберації – це такий інтервал часу $T(c)$, за який щільність звукової енергії зменшується в 10^6 раз в порівнянні з первинною, і при цьому її рівень знижується на 60 дБ.

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 / ревербераційної 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 та 500, 1000 і 2000 Гц, коефіцієнт внутрішньослухової кроскореляції (IACC_{E3} – interaural cross-correlation coefficient), час між приходом прямого сигналу та появою перших відбиттів (ITDG – initial-time-delay gap) тощо [4].

На акустику концертних залів мають безпосередній вплив їх фізичні розміри: об’єм – V (м³), площа поверхні – S (м²), кількість місць – N , а також – звукопоглинаючі матеріали, використані при будівництві залу.

Сьогодні для правильного визначення об’єктивних акустичних параметрів приміщень, діють спеціальні норми і рекомендації ISO (International Organization for Standardization), зазначені в стандарті ISO 3382–2001 [5].

Всі описані об'єктивні параметри оцінки акустики залів поділяються на моноуральні (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 складаються з коротких шумових імпульсів (удар, сплеск в долоні тощо), синусоїдальних зі зміною частоти від низької до високої (Log-Sine sweep), шумових вимірювальних сигналів (pink noise, white noise) та ін. Для отримання параметрів акустичних характеристик сигнали попередньо записуються на носії з подальшою обробкою спеціальними програмами.

На цей час запропоновано такі параметри, що сформувались в результаті узагальнення досвіду з вибору об'єктивних параметрів оцінки якісних фізичних показників концертних залів:

1) *Моноуральні параметри:*

- RT_{mid} (reverberation time) – час реверберації, визначений за проміжок часу коли рівень тиску звукової хвилі спаде на 30 дБ відносно рівня його первинної величини, після припинення дії джерела звуку, з подальшою інтерполяцією спадаючої кривої до 60 дБ;
- EDT_{mid} (early decay time) – час ранніх відбиттів, визначений за проміжок часу коли рівень тиску звукової хвилі спаде на 10 дБ відносно рівня його первинної величини після припинення дії джерела звуку;
- BR_{occ} (bass ratio) – величина басу або коефіцієнт низького тону, визначений з відношення сум величин часу реверберації в низькій та середній октавних смугах;
- Br (brightness) – прозорість, визначена з відношення сум величин часу реверберації у високій та середній октавних смугах;
- $C_{80(3)}$ (early / reverberant sound energy ratio) – коефіцієнт ранньої / ревербераційної енергії, що визначається з відношення величини енергії звукової хвилі, яка діє на слухача перших 80 мс після приходу прямого звуку, та енергії, що діє після цих перших 80 мс, усереднений в трьох октавних смугах;
- 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, і рівнем звукового тиску, створеного тим же джерелом у вільному полі на відстані до десяти метрів;

- T_s (Center Time) – час квадратичного «центру ваги» (середньо-квадратичний час) імпульсного відгуку, усереднений в проміжку між 125 і 4000 Гц;
- 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;
- ITDG (initial-time-delay gap) – інтервал між початковим часом і затримкою, що визначається як час між приходом прямого сигналу та приходом перших відбиттів.

2) *Бінауральні параметри:*

- $IACC_{E3}$ (interaural cross-correlation coefficient) – коефіцієнт внутрішньо-слухової крос-кореляції, рівний відношенню між розрахунковими імпульсними відгуками в обох вухах в перші 80 мс, усереднений в трьох октавних смугах. Вказує на ступінь подібності між двома сигналами.
- STI_{mid} (Room Support) – параметр, що оцінює рівень акустичного комфорту на сцені та в оркестровій ямі, і визначається, як відношення енергії раних відбиттів (від 20 до 100 мс) від стін і стелі сцени або оркестрової ями до енергії, отриманої після 20 мс. Обидва значення отримані на відстані метра від ненапрявленого джерела звуку, що знаходиться на сцені (виражається логарифмічною послідовністю шкалою).

Однак одних лише об'єктивних параметрів для оцінки акустичних властивостей концертних залів недостатньо. Тому поряд з об'єктивними параметрами використовують суб'єктивні оцінки якості звучання. Об'єктивні параметри та суб'єктивна оцінка корелюються (тобто, пов'язані) між собою.

Суб'єктивна оцінка акустики концертних залів вимагає вибору методу, критеріїв оцінки та встановлення їх зв'язку з об'єктивними параметрами. Значних успіхів у цій сфері було досягнуто американським акустиком Л. Беранеком (Leo Beranek) та німецьким акустиком М. Шредером (Manfred Schroeder).

Існує три суб'єктивних критерії або методи для визначення акустичної якості звучання, запропонованих Л. Беранеком [3]:

- 1) метод стереофонічного порівняння;
- 2) метод незалежного прослуховування і прийняття рішення групою експертів;
- 3) метод анкетування та інтерв'ю.

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 концертному залі та якості акустики залу необхідно провести серію записів на концертах. Ці записи потім повинні бути представлені для прослуховування кваліфікованим експертам в акустично глухій кімнаті (anechoic chamber) для суб'єктивного оцінювання звучання і для ранжування акустичних якостей досліджуваного залу. 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). Потім додався ще один, шостий, критерій – інтервал між початковим часом і затримкою [7, с. 1195–1201].

Метод прослуховування і незалежного прийняття рішення групою експертів передбачає відвідування групою експертів концертів в концертних залах і заповнення анкет, в яких вони дають оцінку акустичним властивостям концертних залів та якості звучання музики в них. В результаті анкетувань додалися ще два критерії оцінки. Це інтимність і просторовість (обгортання).

Метод анкетування та інтерв'ю полягає в опитуванні музикантів, диригентів та музичних критиків. Їх просять детально описати акустику добре відомих залів а потім ранжувати їх по якості [7].

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. Це життєвість (liveness), повнота (fullness), розбірливість або ясність (definition, clarity), інтимність (intimacy), теплота (warmth), просторовість (spaciousness), гучність (loudness), баланс (balance), ансамбль (ensemble), тембр (timbre). Крім того, слід враховувати і негативні фактори такі, як луна (відлуння), шуми тощо. Також можуть додаватися ще й інші параметри, наприклад, однорідність (uniformity), атака (attack), текстура (texture) [2].

Перед тим, як встановити кореляції між суб'єктивною оцінкою та об'єктивними параметрами акустики концертних залів, була виконана загальна класифікація всесвітньо відомих концертних залів за якістю звучання в них різних оркестрів, в основному керуючись

третім методом (анкетування та інтерв'ю) для визначення суб'єктивних акустичних характеристик. В результаті цих досліджень близько 53 концертних залів було розділено на шість груп: А+, А, В+, В, С+, С. Після проведення фізичних замірів Л. Беранеком були представлені суб'єктивні та об'єктивні параметри, які, на його погляд, добре корелюються між собою.

Таб. 1. Суб'єктивні характеристики акустики в концертних залах та об'єктивні акустичні виміри, які добре співвідносяться між собою

Суб'єктивні атрибути	Об'єктивні виміри	
Реверберація	Час реверберації, с	RT – reverberation time, EDT – early decay time
Просторовість (середні частоти)	Коефіцієнт внутрішньо-слухової кросс-кореляції, 0–80 мс	IACC _{E3} – interaural cross-correlation coefficient
Просторовість (низькі частоти)	Рівень звуку НЧ, дБ	G _L (125, 250Hz)
Гучність	Рівень звуку, дБ	G _M (500, 1000, 2000Hz)
Обгортання	IACC _L , проінтегрований в діапазоні 0,08–1 с	IACC _L
Чистота	Коефіцієнт ранньої / ревербераційної 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

Час реверберації (RT) в цій таблиці визначається, як час за який рівень звукового тиску спаде від –5 до –35 дБ для заповнених залів (occurred). Ранній час реверберації або час ранніх затухань (EDT) для незаповнених залів (unoccurred) коли рівень звукового тиску спаде на 10 дБ після приходу прямого звуку.

Об'єм прямо впливає на час реверберації а це в свою чергу впливає на якість звучання музики. Тому симфонічна музика добре звучить у великих залах, а камерна – у малих.

Просторовість або просторове сприйняття визначається по тому, як у слухача асоціюється сприйняття музичного образу з простором де звучить музика. В кращих концертних залах слухач відчуває, що оркестр і виконуваний ним твір звучить повно, ніби звук, включаючи реверберацію, поширюється зі всього периметру залу, зі всіх сторін. Просторовість контрастує з відчуттям, коли музика звучить ніби через вікно⁶. Це слухове сприйняття асоціюється із зануренням в ревербераційне звукове поле. Просторовість добре корелюється з коефіцієнтом внутрішньо-слухової кросс-кореляції (ІАСС_{ЕЗ}), що дорівнює різниці звукових полів у двох вухах, як за часом, так і за амплітудою.

Рівень звуку або сила звуку (G_M) – це різниця між рівнем звуку, вимірним на позиції слухача, і рівнем звуку з того самого джерела, вимірним на відстані 10 м в середовищі без реверберації. Вимірювання проводяться на частотах 125, 250, 500, 1000, 2000 і 4000 Гц при багатьох положеннях в залі. Ця величина добре корелюється із *гучністю*.

Просторовість низького тону також корелюється із шириною звукового джерела і пов'язана з рівнем низького тону.

Коефіцієнт ранньої / ревербераційної енергії досить легко оцінюється слухачами під час концерту і корелюється з таким суб'єктивним відчуттям, як *чистота* (або *прозорість* чи *розбірливість*). Він визначається як відношення ранньої звукової енергії в перші 80 мс після приходу прямого звуку до звукової енергії після 80 мс на місці слухача. Якщо ця величина є усередненим значенням в октавних смугах 500, 1000, 2000 Гц, то її позначають – $C_{80(3)}$. Розбірливість може бути «горизонтальною» і «вертикальною». Горизонтальна пов'язана з мелодичною лінією, вертикальна – з гармонією, фактурою, інструментовкою, аранжуванням.

Коефіцієнт низького тону (BR_{occ}) корелюється з такою суб'єктивною оцінкою як *тембр* і рівний відношенню 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 рівнем КНТ володіє так званою музичною «теплотою».

⁶ Інша назва просторового сприйняття – «обгортваність».

Такі характеристики, як *життєвість* прямо пов'язані з часом реверберації на середніх та високих частотах. Для кожного виду музики і мови існує оптимальний час реверберації. Він міняється в межах 0,4–1 с для мови, 1–1,5 с для камерної музики, 1,6–2,2 с для симфонічної музики, 2,3–3,4 с для 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. Основний внесок у відчуття інтимності роблять перші відбиття від бокових стін (в залах з досить високою стелею) і від стелі (в невисоких залах). Велика різниця в часі між прямим звуком та першими відбиттями створює відчуття віддаленості (відірваності) від джерела звуку (тобто, виконавців). В залах де виконується симфонічна музика цей інтервал повинен складати 15–30 мс для слухача, який знаходиться в центрі залу⁷. Камерна музика добре звучить в залах із затримкою перших відбиттів, меншою за 15 мс. Тому, коли камерні твори звучать у великих залах з великим часом затримки ранніх відбиттів, використовують додаткові відбиваючі поверхні по боках і на стелі, що дозволяє створити додаткові ранні відбиття з меншим часом затримки [1].

Також до суб'єктивної оцінки додаються додаткові критерії, які суттєво впливають на результати під час прослуховування музичного матеріалу.

Баланс – це оцінка гучності окремих інструментів по відношенню до гучності всього оркестру. Баланс вибудовується між групами інструментів, між солістами та оркестром і залежить від акустичних особливостей сцени або оркестрової ями, розміщення груп інструментів, професійності музикантів та диригента.

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

⁷ В межах цього часу, якщо відбиття мають подібний спектр і огинаючу, а їх гучність не більша гучності прямого звуку, звуки не сприймаються як окремі. Також, такі відбиття краще локалізують джерело звуку.

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

На звучання музики в приміщенні також мають вплив і негативні фактори. Основні з них: «луна» (або «відлуння») – помітне на слух повторення прямого звуку. Виникає при збільшенні рівня та затримки перших відбиттів (більше 80 мс); «літаюче відлуння» – багаторазове (кількакратне) повторення прямого звуку, що створює тональне забарвлення (ефект гребінчастого фільтру)⁸; «шуми» – впливають на загальне прослуховування та на запис музики. Шуми можуть бути зовнішні (ті, які проникають іззовні), внутрішні (які виникають від автоматизованих систем освітлення, роботи вентиляції, шум публіки тощо).

Узагальнюючи попередній досвід в оцінці акустичних характеристик концертних залів та встановлення кореляції між суб’єктивними критеріями і об’єктивними параметрами, на цьому етапі можна запропонувати такі критерії та параметри для оцінки акустики концертних залів:

Табл. 2. Суб’єктивні критерії оцінки та їхні об’єктивні кореляти

№	Суб’єктивні критерії	Що характеризують	Об’єктивні кореляти
1	Просторовість	Життєвість, просторове враження, глибину	RT_{mid}
2	Просторовість, життєвість	Ширину, життєвість,	EDT_{mid}
3	Тембр	Багатство звуку	BR_{occ}
4	Світлість, яскравість	Багатство спектру верхнього діапазону (особливо у музиці швидких темпів)	B_r
5	Чистота, прозорість	Розбірливість мелодичної лінії та гармонічної фактури	$C_{80(3)}$
6	Гучність	Рівень звучання	G_M

⁸ Спостерігається в приміщеннях з довгими паралельними плоскими стінами. Його наявність призводить до спотворення локалізації прямого джерела звуку, що є недопустимим при прослуховуванні музики.

7	Розбірливість	Відчуття збалансованості між прозорістю і об'ємом	T_s
8	Ширина	Горизонтальне відчуття ширини	LF_{E4}
9	Інтимність, текстура	Близькість до джерела	ITDG
10	Бінауральна просторовість	Просторове враження, видима ширина джерела звуку	IACC _{E3}
11	Підтримка звучання (музиканти оркестру)	Слуховий контроль звучання. Чутність себе та інших учасників оркестру	STI _{mid}

Також, при оцінювання акустики концертних залів, потрібно враховувати перелічені вище додаткові суб'єктивні критерії (баланс, ансамбль, інструментовка, аранжування, динамічний діапазон, шумові перешкоди), які проявляються безпосередньо в процесі звучання оркестрів, ансамблів, хорів.

Висновки. Отже, акустику концертних залів визначають:

- фізичні характеристики залів, відображені у їх об'єктивних параметрах;
- фізичні властивості середовища, де звучить музика;
- склад, інструментарій та розміщення оркестрів або ансамблів;
- наповненість залу слухачами.

Об'єктивні параметри знаходяться в тісному зв'язку (тобто, корелюються) з суб'єктивними критеріями оцінки якості звучання.

Література

1. Agustin Y. Arias. Acoustical parameters comparison of two halls: «Teatro Argentino de La Plata» and «Teatro Margarita Xirgu» / Y. Arias Agustin // Acoustics Instruments and Measurements. – Buenos Aires. – June 2013. – 27 p.
2. Beranek L. Aspects of concert hall acoustics. Richard : C. Heyser Memorial Lecture / L. Beranek // Audio Engineering Society. – 123rd. AES Convention. – New York, USA. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.aes.org/technical/heyser/downloads/AES123heyser-Beranek.pdf>
3. Beranek L. Comparison between Subjective Judgments of Concert Halls' Quality and Objective Measurements of Acoustical Attributes / L. Beranek / Akusticheskij Zhurnal. – Moscow, 1995. – vol. 41, iss. 5. – P. 706–716.

4. Beranek L. Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture / Leo Beranek. – 975 Memorial drive Suite 804 Cambridge, MA 02138-5755 USA.
5. ISO-3382 «Acoustics – Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters». – Geneva, 2001. – 35 p.
6. Lacatis R. Historical and chronological evolution of the concert hall acoustics parameters / R. Lacatis, A. Gimenez, S. A. Barba, S. Cerda, J. Romeroand, R. Cibrian // Acoustics'08. – Paris. – June 29 – July 4, 2008. – pp. 160–166.
7. 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. – pp. 1195–1201.

Олександр Войтович. Об'єктивні параметри і їх суб'єктивні кореляції в оцінці акустики концертних залів. В статті речь идет о способах и методах оценки качественных характеристик акустики концертных залов, а также об определении взаимосвязей между объективными параметрами геометрических и физических характеристик концертных залов и субъективной оценкой качества звучания музыки в этих залах по установленным критериям.

Ключевые слова: объективные параметры, субъективные критерии, акустика, звуковые волны, диффузное поле, реверберация.

Oleksandr Voïtovych. The objective parameters and their subjective correlates in assessing the acoustics of concert halls.

Architectural concert hall's tradition rooted deep antiquity. Even the builders of the first amphitheatres builders are well aware of the connection between room's geometries and its acoustic properties. Over human history, a lot of artistic masterpieces have been created. Desire of perfection was embodied in architectural forms that had to provide the best contact between an audience and the performer. Performing practice has revealed a huge role of acoustic properties of the room in the music image formation. It is evident, that the concert hall's acoustics directly depend on it's physical size, airspace, geometries, surface area, number of seats and absorbing materials used in hall's decoration.

Concert hall's acoustics researching started with the discovery of reverb and putting into scientific practice a value of reverberation time by Wallace Clement Sabine in 1922. Later studies in the field of architectural acoustics, in particular concert hall's acoustics, continued various scholars, such as

Reichardt, Schmidt, Shultz, Cremer, Kürer, Gottlob, Siebrasse, Eysholdt, Schroeder, Hidaka, Maekawa, Morimoto, Okano, Ando, Barron, Beranek, Fricke, Gade, Haan, Marshall, Kahle, Farina. Very interesting become a works of Spanish scientists, who studied the correlation between objective parameters and subjective feelings of the audience.

As to Ukrainian science, there are practically no researches on the concert hall acoustics. This determines the relevance of our research.

The purpose of the publication is systematization of the research results of objective and subjective parameters of concert hall acoustics and discover correlation between them.

Today acoustics of concert hall is evaluated by certain parameters, which are divided into objective and subjective. Objective parameters determined by the laws of acoustics (including acoustic spaces) and subjective – by the psychophysical laws of human sound perception.

The objective parameters are:

1) Reverb – a process of attenuation of reflected sound waves. The time of attenuation is called Reverberation Time (denoted by RT, measured in seconds).

2) Except the reverberation time for an objective assessment applied such settings as the Early Decay Time (EDT), Bass Ratio (BR), the Early / Reverberant Sound Energy Ratio, averaged in the bands 500, 1000 and 2000 Hz ($C_{80(3)}$), two power coefficients (G_L and G_M), averaged in the bands 125, 250 Hz, and 500, 1000, 2000 Hz, Interaural Cross-Correlation Coefficient ($IACC_{E3}$), the Initial-Time-Delay gap (ITDG – time between the arrival of the direct signal and the first reflections) and others.

These entire objective parameters are divided into Monaural (not related to the dimensional localization of sound) and Binaural (related to the dimensional localization of sound).

Today there are special rules and recommendations of ISO (International Organization for Standardization), specified in Standard ISO 3382-2001, for the proper determination of objective acoustic building's parameters.

Besides, for full evaluation of acoustic properties of concert hall, also subjective assessment are used. For getting a complete coherent acoustic picture objective parameters and subjective assessments are correlated with each other.

Subjective assessment of the concert hall acoustics requires the selection method, assessment criteria and establishing their connection with objective parameters. Significant progress in this field was achieved by American physicist Leo Beranek and German physicist Manfred Schroeder.

There are three subjective criteria or methods for acoustic determining the sound quality offered by L. Beranek:

- method of stereophonic comparison;*
- method of independent listening and making decision by the expert group;*
- method of questionnaire and interview.*

With these methods and based on personal experience L. Beranek offered eighteen criteria of subjective evaluation of different halls and selected ten most valid. These are: liveness, fullness, definition or clarity, intimacy, warmth, spaciousness, loudness, balance, ensemble, timbre. Besides, some of negative factors should be considered, such as echo, noise and so on. Also some other parameters might be added, such as uniformity, attack, texture.

As well, in evaluation of concert hall's acoustics, additional subjective criteria, such as balance, ensemble, arrangement, dynamic range, noise barriers, appeared directly in the process of music performance (by the orchestra, ensemble, choir), should be considered.

As a result of our research we concluded that the acoustics of concert halls is determined by:

- physical hall's characteristics which are reflected in their objective parameters;*
- physical properties of the environment where the music sounds;*
- composition, instruments, orchestra's or ensemble's placing;*
- number of audience in the concert hall (fullness of the concert hall).*

Objective parameters are closely related (that is, correlated) with subjective criteria of sound quality's evaluation.

Keywords: *objective parameters, subjective criteria, acoustics, sound waves, diffuse field, reverberation.*