

С. М. Порошин, В. В. Усик

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЧЕТВЕРТОГО ЕТАПУ АКУСТИЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ ДЛЯ ПРИМІЩЕНЬ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Предметом дослідження в статті є методологія проведення експертизи приміщень з метою створення оптимальних акустичних умов в залежності від призначення приміщення. **Мета** – підвищення якості проведення всіх етапів акустичної експертизи з урахуванням приміщень, для яких існують особливі вимоги до якості переданого контенту або для яких є особливості у формуванні звукового поля. Для досягнення поставленої мети, авторами в статті запропонована нова послідовність проведення етапів акустичної експертизи, а саме, використання завершального (четвертого) етапу в якості першого. Така послідовність проведення етапів вимагає вирішення декількох **завдань**: визначення умов проведення досліджень з урахуванням специфіки приміщення і контенту; вибір апаратно-програмного комплексу для проведення досліджень; визначення інформативних критеріїв оцінки акустики приміщення з урахуванням всіх його особливостей; обробка та аналіз отриманих результатів. Застосування такого підходу до етапів акустичної експертизи було розглянуто на прикладі залу засідань, для якого були присутні вимоги до високої якості мовного контенту, в залі вже використовувалася система звукопідсилення, були особливості у формуванні звукового поля. Авторами в статті описані рішення всіх поставлених завдань для досліджуваного приміщення. Отримані **результати** дозволили проаналізувати об'єктивні характеристики звукового поля та виявити причини низької якості передачі мовного контенту не тільки при акустичному розрахунку, але при використанні існуючої систем звукопідсилення (електроакустичний розрахунок). **Висновки.** Запропонована послідовність проведення етапів акустичної експертизи дає можливість виявити "проблемні" місця в формуванні звукового поля і/або визначити можливі шляхи вирішення ще до початку етапів перевірки існуючих архітектурно-будівельних рішень і розробки технічного завдання на конструкції огорожувальних поверхонь і заходів по створінні оптимальних акустичних умов.

Ключові слова: акустична експертиза; об'єктивні характеристики звукового поля; критерії оцінки акустики приміщення.

Вступ

Акустична експертиза приміщень різного призначення включає чотири етапи [13-15]:

- перший етап – перевірка існуючих архітектурно-будівельних рішень для внутрішніх поверхонь приміщення (геометрія, матеріали обробки);

- другий етап – розробка рекомендацій щодо підвищення дифузності звукового поля та забезпечення оптимальної структури ревербераційного процесу (етап створення технічного завдання на розробку конструкцій огорожувальних поверхонь);

- третій етап – моделювання акустики приміщення з рекомендованими оздоблювальними матеріалами та рекомендованими в технічному завданні огорожувальними поверхнями;

- четвертий етап – вимір об'єктивних характеристик звукового поля, яке синтезовано після виконання рекомендованих заходів щодо забезпечення оптимальних акустичних умов.

Послідовність та обсяг проведених в рамках акустичної експертизи етапів може змінюватися за рахунок певних факторів або наявності особливих первинних умов виконання експертизи. Такими факторами та умовами можуть виступати: приміщення, в яких присутні особливості формування звукового поля; приміщення зі спеціальним призначенням; приміщення з особливими вимогами до об'єктивних і/або суб'єктивних характеристиками звукового поля; приміщення з особливими вимогами до типу та якості передачі контенту. У таких випадках в якості першого етапу використовується четвертий

етап, який включає проведення вимірювань об'єктивних характеристик звукового поля [1, 2, 9].

Обробка та аналіз отриманих результатів вимірювань дозволяє провести оцінку не тільки акустики приміщення (акустичний розрахунок), а й існуючої системи звукопідсилення, якщо вона присутня (електроакустичний розрахунок), що дає можливість проводити наступні етапи з урахуванням виявлених недоліків та особливостей у формуванні звукового поля.

Мета і задачі дослідження

В роботі поставлено за мету підвищення якості оцінки акустичних умов в приміщенні за рахунок проведення вимірювального етапу акустичної експертизи (четвертого етапу) в якості першого етапу на прикладі спеціального приміщення з особливими вимогами до типу та якості передачі контенту.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі:

- визначити умови проведення досліджень;
- запропонувати апаратно-програмний комплекс для проведення вимірювань об'єктивних характеристик звукового поля;
- визначити інформативні критерії оцінки акустики приміщення з урахуванням особливостей приміщення або контенту, що використовується;
- провести аналіз отриманих результатів з метою виявлення особливостей формування звукового поля в приміщенні, оцінки якості передачі контенту, виявлення причин незадовільної якості показників, визначення заходів і рекомендацій для подальших етапів акустичної експертизи.

Основна частина

1. Умови проведення досліджень

Підставою для проведення акустичної експертизи приміщення була незадовільна якість передачі мовного контенту, як за умови використання ненаправленого джерела звукового сигналу, так і при використанні існуючої системи звукопідсилення. Об'єктом досліджень виступив зал засідань. Досліджуваний зал мав геометричні розміри: ширина - 24,69 м; довжина - 24,47 м, висота - 12,94 м. Повітряний обсяг становить ~ 7817,9 м³.

Вимірювання характеристик звукового поля проводився з використанням апаратно-програмного комплексу [11, 12, 16, 17]. Для проведення досліджень було визначено наступні умови:

1. Вимірювання в приміщенні залу проводилися згідно ISO 3382 [5-7].

2. Схема розміщення точок вимірювань представлена на рис. 1-2. У приміщенні було обрано 35 точок розміщення вимірювального мікрофона на першому поверсі та на балконі. Мікрофон розміщувався на висоті 1,2 м від поверхні підлоги в зоні розташування крісел. Досліджуване приміщення є симетричним уздовж поздовжньої вісі, тому всі точки розташовувалися в правій половині залу.

3. Вимірювання в приміщенні проводилися без учасників засідання.

4. Всі проведені результати вимірювань та їх аналіз містить два варіанти, які відрізняються використанням різних джерел тестового сигналу.

Перший варіант (акустичний). В якості джерела тестового сигналу використовували ненаправлене джерело, яке було встановлене на висоті 1,5 м від підлоги та розташовано по поздовжній вісі приміщення в районі центральної трибуни [3, 4].

Другий варіант (електроакустичний). Для оцінки параметрів синтезованого звукового поля, в якості джерела тестового сигналу використовувалася

існуюча система звукопідсилення залу з включеною конгрес системою [3, 4, 5].

5. Згідно з тим, що основний звуковий контент для досліджуваного приміщення був мовний матеріал, то були визначені та виміряні наступні характеристики: час реверберації T30, ранній час спаду EDT; мовна ясність C50, ясність прямого звуку C7; %ALcons – відсоток артикуляційних втрат приголосних; STI індекс передачі мови; RASTI швидкий індекс передачі мови [10].

2. Критерії оцінки акустики приміщення [10, 12, 17]

Час реверберації.

Для вимірювання раннього часу спаду (EDT) і часу реверберації (RT) використовується відгук на імпульсний вплив в приміщенні. Крутизна обернено інтегрованого логарифмічного імпульсного відгуку приміщення (так звана ділянка Шредера) дозволяє розрахувати час реверберації.

Отримані результати представлені в частоті зваженої формі (опціонально третину октави) та відповідно до ISO3382 визначає їх енергетичними діапазонами від -5 дБ до -15 дБ (EDT), і від -5 дБ до -35 дБ (T30) [5-7,10].

Так як в реальних умовах залів важко досягти необхідного динамічного діапазону в 60 дБ для отримання стандартного часу реверберації (T60), то час реверберації визначається як загасання рівня звукового тиску в діапазоні від -5 дБ до -35 дБ і називається T30.

Розміри досліджуваного залу та його призначення визначають оптимальний час реверберації T500. На рис. 3 представлені допустимі межі рекомендованих відхилень значень часу реверберації щодо оптимального часу реверберації T500.

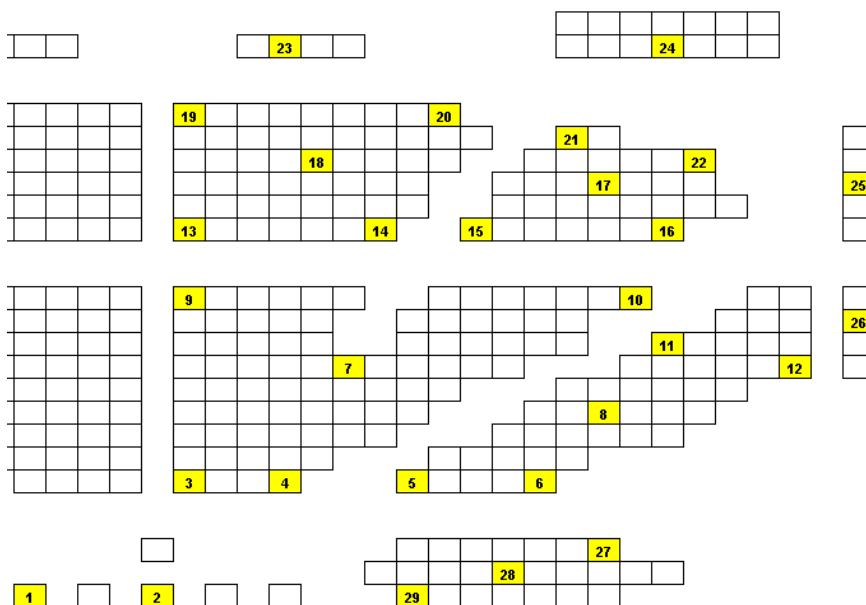


Рис. 1. Схема розташування вимірювального мікрофону при проведенні акустичної експертизи на першому поверсі залу

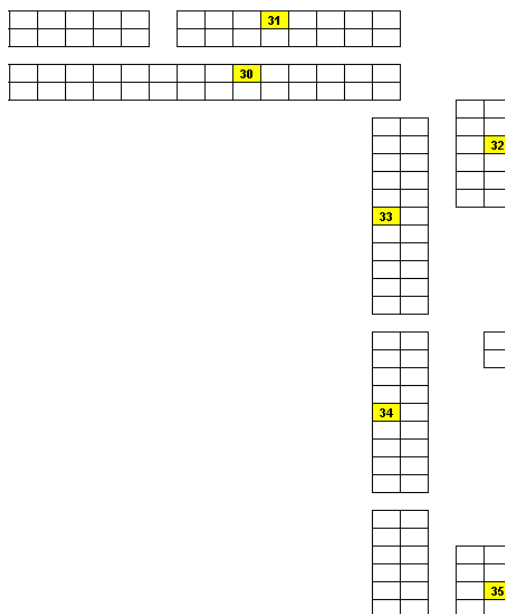


Рис. 2. Схема розташування вимірювального мікрофону при проведенні акустичної експертизи на балконі зали

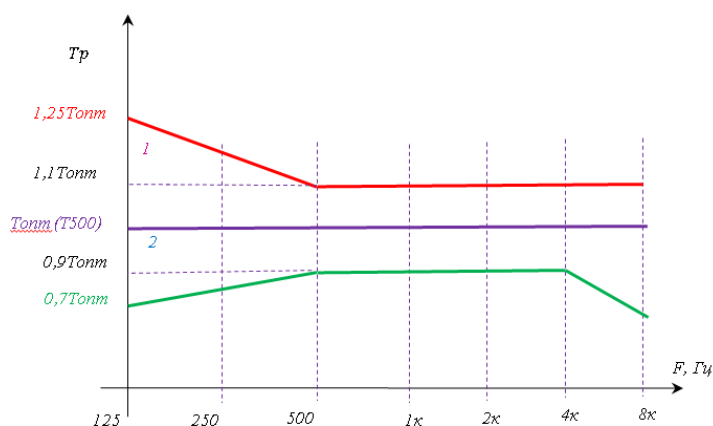


Рис. 3. Допустимий діапазон відхилень часу реверберації від оптимального значення T500, рекомендований для мовного контенту

Ясність.

Для оцінки показників ясності в приміщенні, де переважає мовний контент, оцінюються показники:

- 1) рівень прямого звуку C_7 ;
- 2) мовна ясність C_{50} ;

1. Рівень прямого звуку C_7 відображає звукові компоненти енергії прямого звуку по відношенню до звукової енергії відображень та реверберації, які прибувають після прямого звуку на місце прослуховування. Показник C_7 – критерій суб'єктивного сприйняття "близькості" або "безпосередності" джерел звуку (спікера). Значення рівня прямого звуку визначається за формулою:

$$C_7 = 10 \log_{10} \left(\frac{E_7}{E_\infty - E_7} \right). \quad (1)$$

2. Показник C_{50} має відношення до розбірливості мови та розраховується за формулою

$$C_{50} = 10 \log_{10} \left(\frac{E_{50}}{E_\infty - E_{50}} \right). \quad (2)$$

Відношення між мовною ясністю та визначенням показника C_{50} дає оцінку, згідно з якою C_{50} повинен бути ≥ -2 дБ. Це допомагає уникнути зменшення ясності складу нижче 80%. Ясність фрази (текстова ясність), завдяки контексту є вище, ніж ясність складу, та становить 95%. Значення $C_{50} = -2$ дБ вважається нижньою допустимою межею для гарної мовної або текстової ясності.

Чіткість мовного контенту.

Для оцінки розбірливості використовується такі показники, як:

- %ALcons (percentage Articulation Loss of Consonants) - відсоток артикуляційних втрат приголосних;
- STI (speech transmission index) - індекс передачі мови.

- RASTI (rapid speech transmission index) – швидкий індекс передачі мови.

Відсоток артикуляційних втрат приголосних (%ALcons).

Для оцінки розбірливості обчислюється відсоток втрати приголосних, які в основному і визначають смисловий зміст промови. Чим більше цей відсоток, тим гірше розбірливість мови в приміщенні. Максимально допустиме значення - 10% (за умови, що приміщення відносно вільно від шуму, що маскує). Значення ALcons об'єднані рейтинговою шкалою для оцінки словесної мовної ясності (табл. 1).

Таблиця 1. Шкала оцінки мовної ясності

Значення ALcons	Оцінка мовної ясності
≤ 3%	ідеальна
= 3%	дуже добра
= 8%	добра
≥ 11% до 20 %	погана
>20%	марна (граничне значення 15%)

В приміщеннях де важливим фактором є якісна передача мовного контенту, показник артикуляційних втрат приголосних %ALcons не має перевищувати значення 5%.

Індекс передачі мови (STI).

Метод розрахунку індексу передачі мови (STI) полягає в тому, що мовний сигнал являє собою згортку імпульсної характеристики звукового сигналу джерела (для голосних звуків це імпульсний сигнал з майже гармонійним спектром, для приголосних це шумовий сигнал різної форми) з імпульсною характеристикою голосового тракту.

Мовний сигнал можна наближено розглядати як певний широкосмуговий сигнал (з смугою 125 ... 8000 Гц), модульований іншим сигналом з низькою частотою. Частота модуляції визначається швидкістю, з якою людина вимовляє форманти (швидкістю артикуляції). Експерименти показали, що частоти

модуляції в звичайній мові знаходяться в діапазоні від 0,63 до 16 Гц, причому найбільш ймовірні частоти модуляції знаходяться в області 5 ... 7 Гц.

Визначення значень STI засноване на вимірі подавлення модуляції сигналу між місцем розташування джерела звуку, наприклад, на сцені, та прийомним вимірювальним місцеположенням з середніми октавними частотами від 125 Гц до 8000 Гц.

Однак, не тільки реверберація та шум зменшують якість мови, але також всі зовнішні сигнали або їх зміни, які відбуваються на шляху від джерела до слухача. Для підтвердження цього впливу використовується модуляційна передавальна функція (MTF). Наявний корисний сигнал S (сигнал) співвідноситься з переважаючим сигналом що заважає, N (шумом). Визначальним фактором модуляційного подавлення $m(F)$ є фактор, який характеризує перешкоди з мовної ясністю:

$$m(F) = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi F \cdot \frac{RT}{13,8})^2}} \cdot \frac{1}{1 + 10^{-\frac{S/N}{10dB}}}, \quad (3)$$

де F – частота модуляції, Гц; RT – час реверберації, с; S/N – відношення сигнал/шум, дБ.

Для обчислення використовуються частоти модуляції від 0,63 Гц до 12,5 Гц в третину-октавних смугах. Крім того, модуляційна передавальна функція піддається надбавку частоти (WMTF – навантажена модуляційна передавальна функція) для досягнення повної кореляції з мовної ясністю. При цьому модуляційна передавальна функція поділяється на 7 діапазонів частот, кожен з яких модулювати частотою модуляції. Це призводить до матриці $7 \times 14 = 98$ коефіцієнтів придушення модуляції m_i .

Для того, щоб була можливість порівняти результати оцінок розбірливості, отриманих різними методами, була розроблена загальна шкала розбірливості CIS (стандарт ІЕС-60849), що дозволяє перераховувати значення розбірливості, отриманої різними методами (як суб'єктивними, так і об'єктивними) одна в іншу (рис. 4).

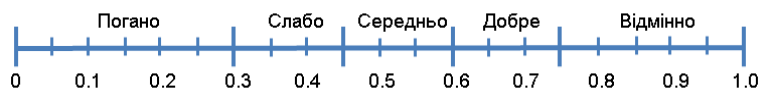


Рис. 4. Шкала оцінки індексу передачі мови

Межі зміни STI для забезпечення гарної розбірливості, особливо для приміщень, де важливим є мовний контент, складають 0,6 ... 1,0.

Швидкий індекс передачі речі (RASTI).

Оскільки розрахунок розбірливості містить трудомістку процедуру, фірмою Brüel & Kjær був розроблений альтернативний спрощений метод RASTI, який передбачає вимірювання тільки в двох октавних смугах 500 Гц при частотах модуляції 1,02/2,03/4,07/8,14 Гц, а також 2 кГц при частотах модуляції 0,73/1,45/2,90/5,81/11,63 Гц. Далі процедура вимірювань відбувається як і в попередньому випадку,

будується матриця, розраховується середнє значення модуляційної передавальної функції в смугах частот і по ньому визначається нормалізований індекс RASTI.

Щоб отримати значення RASTI для чинного відношення сигнал-шум X , його можна обчислити з коефіцієнтів придушення модуляції m_i :

$$X = \frac{1}{9} \sum_{j=1}^9 X_j, \quad (4)$$

$$X_j = 10 \lg \left(\frac{m_i}{1 - m_i} \right). \quad (5)$$

Згідно з визначенням значення RASTI тоді:

$$RASTI = \frac{X = 15\delta B}{30\delta B}. \quad (6)$$

Засновані на порівнянні результатів суб'єктивних експериментів з максимальною можливою ясністю складів 96%, значення RASTI класифіковані в суб'єктивних оцінках для складової ясності згідно табл. 2.

Таблиця 2. Відповідність складової ясності значенням RASTI

Складовая ясність	Значення RASTI
бідна	0 - 0.3
задовільна	0.3 - 0.45
добра	0.45 - 0.6
дуже добра	0.6 - 0.75
відмінна	0.75 - 1

Рекомендована складова ясність в приміщеннях, для яких важливим є якісна передача мовного контенту, повинна належати діапазону від "Дуже добре" до "Відмінно".

3. Аналіз результатів вимірювань

Оптимальний час реверберації для залу, в якому основним є мовний контент, становить

$$T_{500} = 0,31g(V) - 0,05 = 1,12c. \quad (7)$$

На рис. 5–8 наведені графіки частотної залежності часу реверберації та раннього часу спаду (EDT) для деяких точок вимірювання. Кожен рисунок містить частотні залежності часу реверберації T30, отримані для двох варіантів джерела тестового сигналу: 1 варіант - ненаправлене джерело; 2 варіант - існуюча система звукопідсилення. На кожному графіку наведена крива оптимального часу реверберації T500 і рекомендовані межі відхилення часу реверберації для мовного контенту.

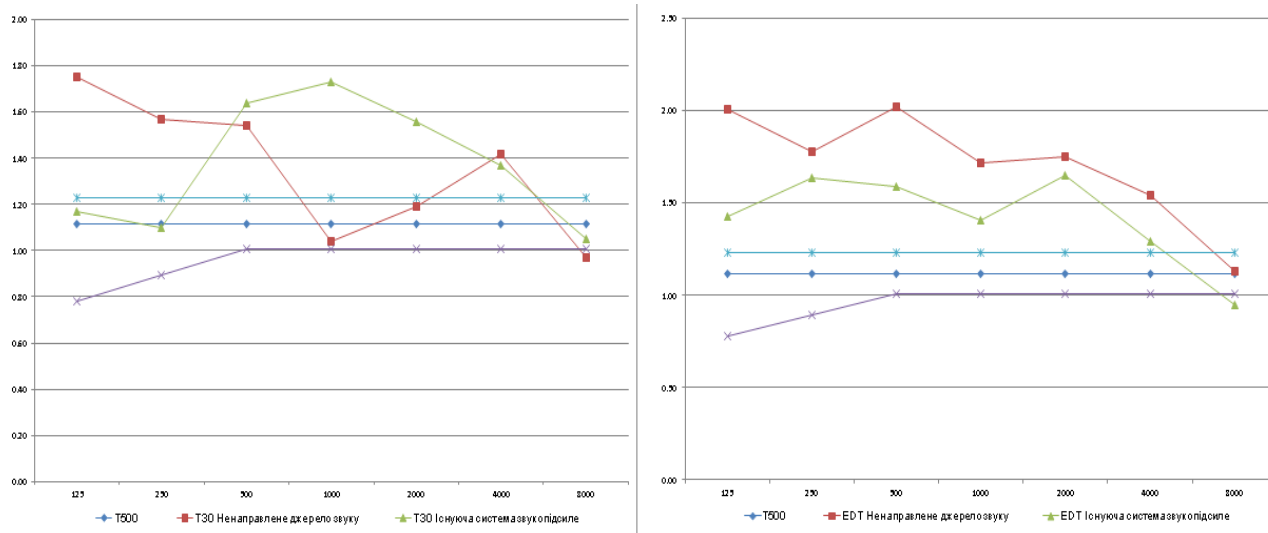


Рис. 5. Графіки частотної залежності часу реверберації T30 та раннього часу спаду (EDT), що отримані для точки вимірювання №7

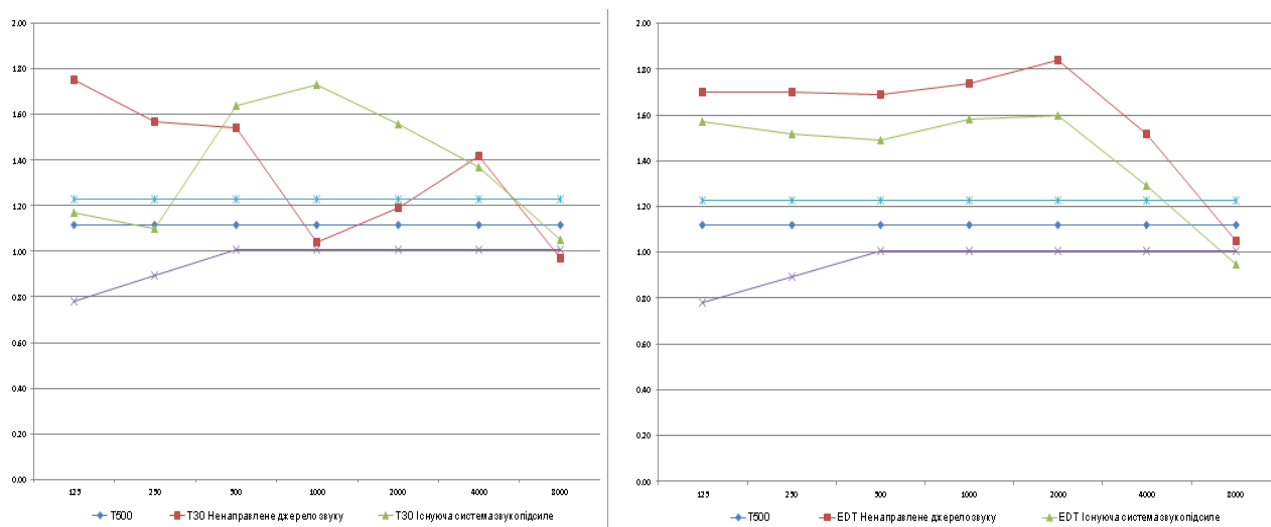


Рис. 6. Графіки частотної залежності часу реверберації T30 та раннього часу спаду (EDT), що отримані для точки вимірювання №10

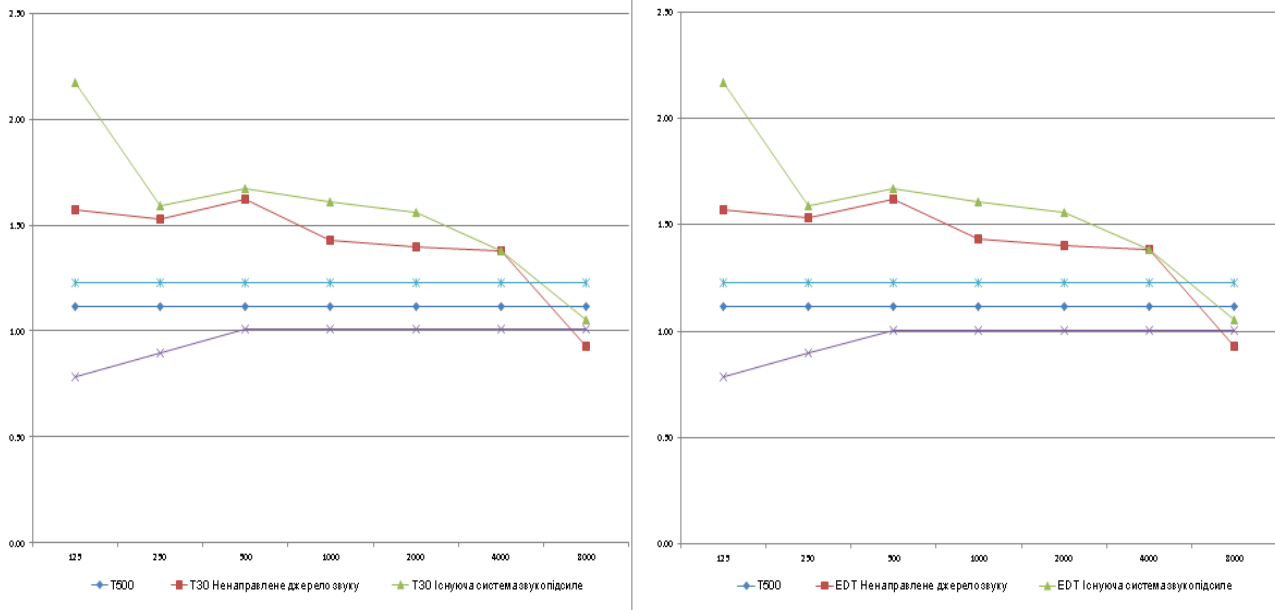


Рис. 7. Графіки частотної залежності часу реверберації T30 та раннього часу спаду (EDT), що отримані для точки вимірювання №28

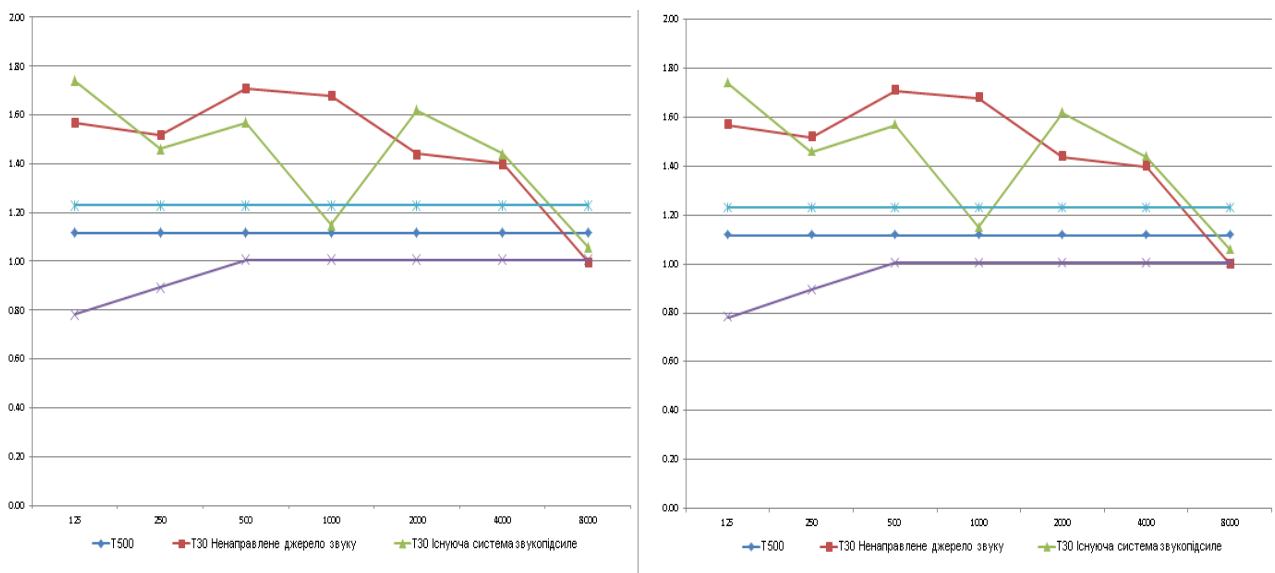


Рис. 8. Графіки частотної залежності часу реверберації T30 та раннього часу спаду (EDT), що отримані для точки вимірювання №33

У табл. 3-4 представлені значення, що виміряні, частотної залежності часу реверберації та раннього часу спаду (EDT) для всіх 35 точок вимірювання для двох варіантів джерел звуку.

Аналіз отриманих графіків та значень T30 і раннього часу спаду EDT дозволив зробити наступні висновки:

- час реверберації в приміщенні досить сильно відрізняється від оптимального часу реверберації в усьому діапазоні частот від 125 Гц до 8000 Гц, що не може не позначатися на якості відтворення мовного контенту;

- тенденція графіків частотної залежності часу реверберації також має явний підйом в області низьких частот, що має благотворний вплив на музичний контент, але призводить до зниження розбірливості мовного контенту;

- аналіз значень раннього часу спаду показує стійку тенденцію до зростання значень в середньочастотній області, що зумовлено малим поглинанням огорожувальних поверхонь та, як наслідок, зниження розрізнення та ясності звукового контенту;

- для корекції акустичних властивостей залу необхідно проведення заходів не тільки по заміні акустичної обробки поверхонь, що огорожують залу (з можливою корекцією геометрії огорожувальних поверхонь), але і заміні існуючої системи звукопідсилення (тип, точки підвісу, кут нахилу, система еквалізації та обробки).

На рис. 9-12 для двох варіантів розрахунку представлені значення мовної ясності C50 для всіх 35 точок вимірювання.

Таблиця 3. Значення T30 та EDT, що виміряні (джерело звуку - ненаправлене)

Точка вимір.	T30							EDT						
	F, Hz							F, Hz						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	1.53	1.44	1.72	1.65	1.57	1.36	1.01	1.37	1.08	1.74	1.58	1.58	1.58	1.36
2	1.4	1.3	1.59	1.6	1.49	1.33	1	0.25	0.1	0.17	0.12	0.13	0.14	0.16
3	1.86	1.47	1.38	0.84	1.25	1.43	0.96	1.66	1.65	1.7	1.5	1.97	1.53	0.86
4	1.71	1.53	1.34	0.96	1.44	1.43	1	1.5	1.46	1.92	1.68	2.18	2.03	2.55
5	1.66	1.55	1.47	0.95	1.46	1.45	1	1.93	1.37	1.93	1.81	2.06	1.88	1.69
6	1.53	1.4	1.75	1.15	1.41	1.4	0.9	2	1.88	1.95	1.86	1.79	1.74	1.47
7	1.75	1.57	1.54	1.04	1.19	1.42	0.97	2.01	1.78	2.02	1.72	1.75	1.54	1.13
8	1.76	1.68	1.54	1.15	1.23	1.41	0.92	2.02	1.86	1.89	1.82	1.79	1.63	1.26
9	1.78	1.58	1.51	1.16	1.16	1.33	0.93	1.72	1.26	1.8	1.66	1.57	1.4	0.86
10	1.86	1.6	1.63	1.08	1.3	1.38	0.95	1.7	1.7	1.69	1.74	1.84	1.52	1.05
11	1.47	1.53	1.56	1.24	1.18	1.38	0.96	1.45	1.66	1.78	1.87	1.76	1.62	1.13
12	1.9	1.67	1.61	1.25	1.24	1.4	0.94	1.98	1.56	1.88	1.93	1.76	1.54	1.21
13	1.64	1.42	1.62	1.26	1.25	1.33	0.94	1.9	1.3	1.63	1.52	1.4	1.21	0.58
14	1.79	1.62	1.62	1.55	1.31	1.35	0.94	1.65	1.49	1.57	1.61	1.38	1.3	0.69
15	1.74	1.74	1.68	1.32	1.26	1.36	0.95	1.79	1.67	1.69	1.64	1.63	1.43	0.83
16	1.59	1.64	1.65	1.31	1.29	1.37	0.94	1.52	1.58	1.8	1.86	1.66	1.41	0.88
17	1.65	1.51	1.7	1.58	1.34	1.37	0.97	1.4	1.27	1.53	1.77	1.79	1.44	0.99
18	1.72	1.56	1.63	1.6	1.32	1.31	0.92	1.85	1.59	1.37	1.47	1.39	1.27	0.69
19	1.56	1.6	1.67	1.62	1.31	1.31	0.96	1.05	0.91	1.1	1.53	1.43	1.12	0.42
20	1.63	1.47	1.58	1.61	1.34	1.34	0.95	1.6	1.13	1.59	1.81	1.57	1.31	0.77
21	1.61	1.56	1.66	1.74	1.35	1.34	0.96	1.84	1.47	1.65	1.52	1.53	1.42	0.73
22	1.67	1.59	1.74	1.64	1.35	1.3	0.95	1.57	1.28	1.41	1.81	1.75	1.4	0.85
23	1.49	1.6	1.68	1.64	1.32	1.3	0.93	1.25	0.81	1.14	1.68	1.48	1.23	0.83
24	1.72	1.59	1.68	1.64	1.38	1.3	0.95	1.5	1.38	1.69	1.75	1.49	1.39	0.61
25	1.73	1.68	1.62	1.57	1.27	1.35	0.93	1.25	1.58	1.81	1.92	1.7	1.48	0.94
26	1.83	1.54	1.69	1.58	1.49	1.39	0.91	2.51	1.84	1.8	1.68	1.62	1.42	1.11
27	1.69	1.58	1.61	1.27	1.43	1.37	0.92	1.84	1.76	2.15	1.76	1.7	1.6	1.28
28	1.57	1.53	1.62	1.43	1.4	1.38	0.93	1.87	1.8	1.9	1.91	1.76	1.55	1.3
29	1.45	1.42	1.71	1.72	1.55	1.35	0.85	1.98	1.94	1.76	1.68	1.52	1.22	0.91
30	1.67	1.57	1.63	1.62	1.42	1.34	0.95	1.01	1.18	1.51	1.55	1.53	1.07	0.61
31	1.65	1.45	1.66	1.66	1.59	1.39	0.97	0.87	1.35	1.73	1.87	1.66	1.21	0.89
32	1.52	1.56	1.67	1.64	1.35	1.38	1	1.49	1.3	1.6	1.83	1.73	1.34	0.84
33	1.57	1.52	1.71	1.68	1.44	1.4	1	1.03	1.08	1.68	1.73	1.79	1.41	0.88
34	1.68	1.37	1.58	1.48	1.43	1.43	0.98	1.99	1.51	1.91	2.01	1.96	1.57	1.11
35	1.31	1.53	1.64	1.62	1.52	1.46	0.98	1.67	1.77	2.02	1.86	1.84	1.58	1.15

Таблиця 4. Значення T30 та EDT, що виміряні (джерело звуку - існуюча система звукопідсилення)

Точка вимір.	T30							EDT						
	F, Hz							F, Hz						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	2.16	1.2	1.127	1.29	1.25	1.24	1.01	1.35	1.65	0.71	1.73	1.74	1.68	1.25
2	1.85	1.57	1.63	1.65	1.52	1.4	1.01	1.42	1.3	1.73	1.73	1.78	1.51	0.5
3	2	1.51	1.65	1.6	1.58	1.37	1.05	2.6	1.83	1.67	1.77	1.62	1.37	0.98
4	2.2	1.59	1.62	1.61	1.51	1.37	1.04	1.95	1.6	1.8	1.56	1.56	1.38	1.02
5	1.94	1.46	1.69	1.64	1.55	1.36	1.05	1.99	1.74	1.5	1.54	1.59	1.38	0.97

6	1.82	1.45	1.69	1.62	1.59	1.36	1.02	1.44	1.99	1.69	1.69	1.62	1.38	1.01
7	1.17	1.1	1.64	1.73	1.56	1.37	1.05	1.43	1.64	1.59	1.41	1.65	1.29	0.95
8	1.89	1.47	1.62	1.6	1.57	1.37	1.05	1.99	1.57	1.74	1.64	1.6	1.37	0.98
9	1.86	1.41	1.57	1.58	1.57	1.36	1.06	2.26	1.82	1.57	1.37	1.58	1.45	1.04
10	1.81	1.58	1.7	1.63	1.58	1.36	1.04	1.57	1.52	1.49	1.58	1.6	1.29	0.95
11	1.94	1.52	1.64	1.61	1.55	1.35	1.04	1.42	1.7	1.62	1.71	1.48	1.4	0.94
12	1.9	1.49	1.69	1.65	1.52	1.35	1.04	1.92	1.57	1.59	1.72	1.66	1.33	0.97
13	1.61	1.51	1.63	1.66	1.55	1.35	1.06	1.89	1.85	1.85	1.6	1.54	1.37	0.95
14	1.96	1.54	1.6	1.68	1.58	1.36	1.06	2.11	1.64	1.78	1.66	1.63	1.38	0.96
15	1.92	1.62	1.57	1.61	1.53	1.39	1.06	1.37	1.33	1.63	1.62	1.67	1.38	0.96
16	1.83	1.47	1.59	1.61	1.55	1.36	1.04	1.69	1.6	1.64	1.66	1.62	1.37	0.9
17	1.94	1.51	1.58	1.59	1.54	1.36	1.06	1.04	1.65	1.68	1.7	1.57	1.31	0.88
18	1.85	1.51	1.68	1.64	1.53	1.36	1.05	1.74	1.17	1.6	1.72	1.53	1.29	0.93
19	1.94	1.5	1.75	1.62	1.56	1.35	1.06	1.82	1.87	1.68	1.73	1.5	1.33	0.93
20	1.74	1.51	1.65	1.67	1.56	1.38	1.06	1.39	1.34	1.67	1.67	1.65	1.32	1.02
21	1.79	1.46	1.73	1.62	1.59	1.37	1.05	1.84	1.65	1.64	1.71	1.6	1.35	0.98
22	1.51	1.46	1.54	1.6	1.52	1.38	1.05	1.48	1.45	1.79	1.67	1.59	1.3	0.96
23	1.85	1.59	1.6	1.63	1.55	1.37	1.05	1.75	1.13	1.82	1.7	1.59	1.2	0.94
24	1.78	1.51	1.62	1.65	1.56	1.37	1.05	2.01	1.5	1.7	1.66	1.54	1.31	1.01
25	1.79	1.6	1.64	1.64	1.62	1.38	1.06	1.64	1.31	1.72	1.69	1.57	1.3	1.05
26	1.91	1.45	1.6	1.62	1.55	1.36	1.06	1.67	1.57	1.67	1.71	1.68	1.21	0.93
27	1.79	1.54	1.7	1.57	1.52	1.36	1.04	1.72	1.45	1.62	1.68	1.63	1.31	1.05
28	2.17	1.59	1.67	1.61	1.56	1.38	1.05	1.89	1.22	1.58	1.79	1.65	1.25	0.98
29	1.78	1.54	1.57	1.59	1.54	1.37	1.07	1.78	1.54	1.75	1.6	1.62	1.3	0.98
30	2.43	1.43	1.72	1.58	1.6	1.05	1.06	1.71	1.85	1.65	1.68	1.62	1.36	0.88
31	1.71	1.6	1.63	1.24	0.91	0.5	0.47	1.64	1.77	1.75	1.61	1.38	1	0.72
32	1.14	1.46	1.59	1.21	1.06	0.7	0.5	1.6	1.65	1.8	1.47	1.37	1.14	0.62
33	1.74	1.46	1.57	1.15	1.62	1.44	1.06	1.06	1.58	1.54	1.65	1.61	1.36	0.89
34	2.18	1.55	1.77	1.67	1.58	1.44	1.05	1.22	1.55	1.59	1.49	1.62	1.35	0.81
35	3.41	2.2	1.5	1.39	0.98	0.65	0.54	1.52	2	1.61	1.59	1.43	1.08	0.79

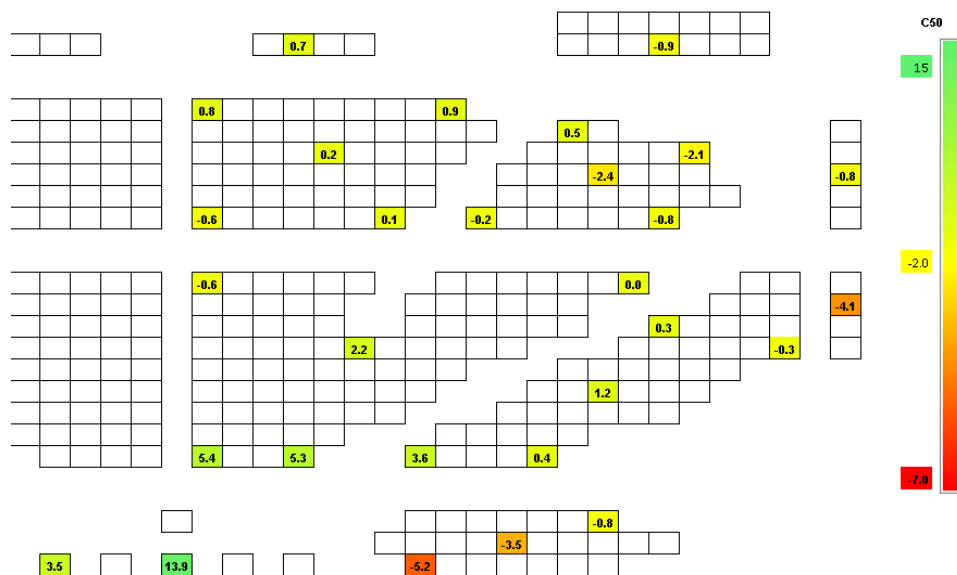


Рис. 9. Показник мовної ясності C_{50} на першому поверсі залу (джерело звуку - тестова акустична система)

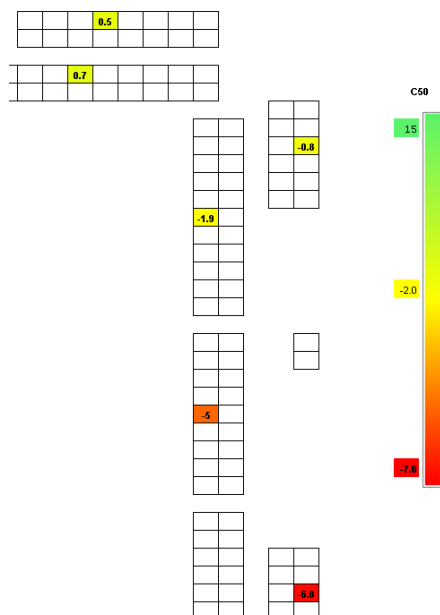


Рис. 10. Показник мовної ясності C_{50} на балконі (джерело звуку - тестова акустична система)

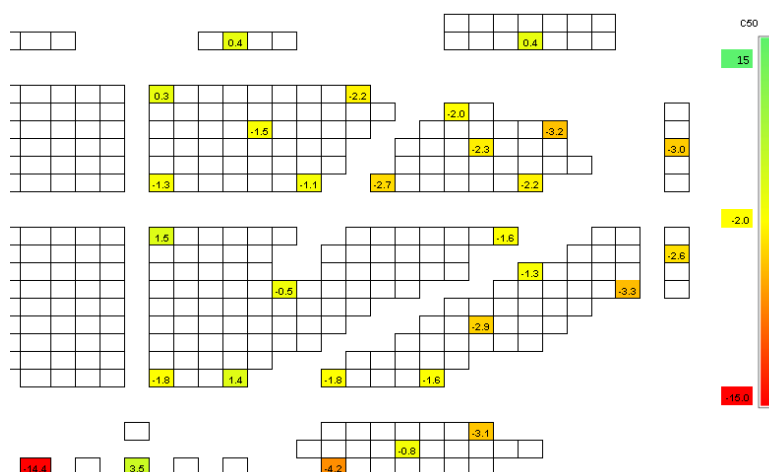


Рис. 11. Показник мовної ясності C_{50} на першому поверсі залу (джерело звуку - існуюча система озвучування)

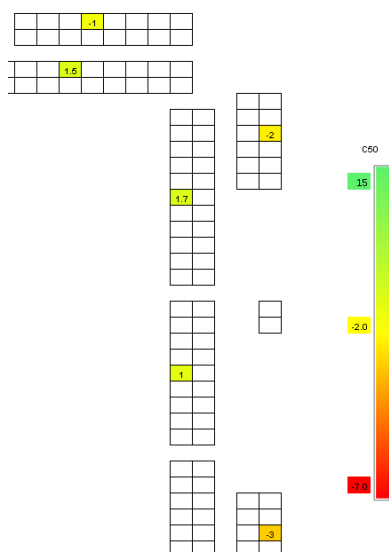


Рис. 12. Показник мовної ясності C_{50} на балконі (джерело звуку - існуюча система озвучування)

У табл. 5–6 для двох варіантів розрахунку мовної яскості C_{50} та показника яскості прямого представлени виміряні значення частотної залежності звуку C_7 для всіх 35 точок вимірювання.

Таблиця 5. Показник мовної яскості C_{50} та яскості прямого звуку C_7 (джерело звуку - ненаправлене)

Точка вимір.	C_{50}							C_7						
	F, Hz							F, Hz						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	2.8	5.9	3.8	3.5	0.9	1.7	1	-12	-3.9	-0.6	-2.4	-2.8	-2.5	-2.9
2	10.4	13.4	13.4	13.9	13.8	12.7	14.8	-14	-0.5	2.3	6	5.8	6	8.6
3	0.9	3.2	2.2	5.4	5.7	7.9	9.3	-20	-3.4	-0.9	3	3.9	4.5	4.6
4	-1.3	4.7	1.7	5.3	4.2	5.7	8.4	-18	-2.6	-1.3	3.9	2.8	4.1	7.1
5	-0.8	4.2	1.4	3.6	3.6	4.8	7.7	-16	-5.2	-2.3	1	1.9	2.1	4.3
6	0.1	2.5	0.1	0.4	-0.9	1.2	2.3	-14	-8.1	-4	-2.1	-3.3	-0.5	0.1
7	-2.6	-1.7	-1.5	2.2	1.5	1.8	4.7	-25	-5.8	-3.4	1	0.5	0.2	3.4
8	-1.1	-0.6	-0.6	1.2	-0.4	-0.4	2.1	-16	-11	-2.9	-0.6	-1.7	-2.2	0.3
9	-10	-4.9	-3.2	-0.6	0.7	0.9	2.9	-26	-8.5	-5.4	-2.3	-0.9	-2	1.1
10	-5.8	-4	-2	0	0.1	-0.8	2.6	-22	-8.9	-5.4	-2.1	-2.1	-3.5	0.7
11	-3.2	-3.6	-2	0.3	0.8	-0.8	2.8	-21	-9.4	-5.6	-2.2	-1.5	-3.5	0.5
12	-2	-1.6	-2.8	-0.3	0.4	-1.4	1.4	-18	-14	-5.4	-2.6	-1.9	-4	-0.9
13	-5.3	-4.6	-3.3	-0.6	2.5	1.3	4.1	-23	-12	-7.5	-3.1	-1.2	-4.5	-1.4
14	-7.1	-2.3	-1.1	0.1	2.4	1	4.9	-22	-10	-9.5	-5.2	-2.2	-4.9	-0.9
15	-3.7	-3	-2.3	-0.2	1.7	0.4	3.8	-26	-9	-7.5	-3.7	-1.3	-4.2	0
16	-5.9	-2.9	-2.3	-0.8	0.2	-1.2	3.5	-23	-11	-6.7	-4.2	-3.3	-6.4	-1.4
17	-5.5	-3.8	-3.6	-2.4	1.3	-1.1	4.2	-23	-14	-9.6	-5.3	-2.3	-6.3	-1.3
18	-1.9	-1.2	-2.7	0.2	2.8	2.4	5.5	-24	-12	-11	-5.9	-3.3	-4.9	-2.6
19	-5	-2.3	1.1	0.8	3.5	4.1	7.7	-21	-14	-12	-7.5	-4.1	-4.9	-4.7
20	-5.6	-2.8	-0.7	0.9	2.7	2	5.6	-22	-14	-12	-7.2	-3.6	-7.2	-4.2
21	-3.7	-2.7	-1.3	0.5	1.9	1.8	5.6	-22	-13	-9.2	-7.2	-3.6	-5.6	-2.1
22	-3.3	-4.4	-4.2	-2.1	1.1	0.5	4.3	-21	-15	-12	-6.7	-3.5	-6.5	-2
23	-7.5	-1	0.4	0.7	2.2	3	5.7	-27	-18	-14	-7.2	-3.1	-4.5	-2.8
24	-3.8	0.2	-1.1	-0.9	2.7	1.6	6.7	-22	-13	-13	-6.6	-3.6	-6.7	-3.3
25	-5.4	-3.5	-1.7	-0.8	0.1	-0.6	3.1	-18	-13	-8.7	-4.9	-3.9	-7	-4.1
26	0.3	-1.4	-0.8	-4.1	-5	-3.9	-0.5	-12	-11	-7.9	-11	-9.9	-8.3	-4.3
27	-5.6	-1.5	-2.5	-0.8	-3.8	-2.5	-1.2	-16	-5.7	-7.6	-4.6	-7.8	-6.1	-4
28	-2.9	-0.8	-3.5	-3.5	-5.8	-4.9	-1.9	-18	-8.4	-9.1	-11	-10	-9.1	-7.3
29	0.2	-3.1	-3.9	-5.2	-5.2	-5.2	-3.4	-13	-14	-17	-23	-23	-23	-5.6
30	1.2	-2	-0.8	0.7	2.3	2.8	4.5	-20	-8.3	-11	-6.9	-6.1	-5.4	-3.3
31	0.2	-0.3	-1.4	0.5	1.2	2.4	4.9	-20	-8	-9.5	-5.5	-4.1	-3.5	-1.5
32	-3.8	-3.4	-0.8	-0.8	1.2	1.2	4.2	-19	-11	-8.9	-6.1	-2.5	-3.3	-1.2
33	-2.3	-2	-0.4	-1.9	0.1	1.2	4	-24	-9.7	-8.9	-7.8	-4.4	-4.9	-1.2
34	-2.9	-4.7	-3.5	-5	-4.4	-1.7	-0.9	-17	-13	-8.3	-9.8	-8.6	-4.7	-2.9
35	-11	-4.8	-5.8	-6.8	-5.7	-1.8	-2.4	-22	-13	-12	-12	-8.9	-3.8	-5.6

Таблиця 6. Показник мовної яскості C_{50} та яскості прямого звуку C_7 (джерело звуку - існуюча система озвучування)

Точка вимір.	C_{50}							C_7						
	F, Hz							F, Hz						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	-14.6	-15.3	-13.5	-14.4	-14.3	-14.3	-14.1	-24.6	-25.1	-27.6	-26.6	-25	-23.6	-23
2	-6.1	-2.6	-1	3.5	0.1	5.5	8.3	-14	-8.1	-3.6	1.5	-3.3	2.1	4.6

Кінець Таблиці 6.

3	-10.1	-1.7	-1	-1.8	0.1	-2.9	-1.1	-21.9	-13.9	-10	-6.3	-2.5	-9.7	-8.3
4	-9.7	-2.2	1.4	1.4	1.4	-1.2	-0.2	-19.5	-13.4	-7.3	-1.8	-1	-5	-5.4
5	-7.7	-2.1	-0.2	-1.8	0	-2	0.1	-22.8	-13.5	-8.7	-6.2	-2.9	-6.8	-8
6	-11.2	-2.7	0	-1.6	-0.1	-0.6	0.8	-23.1	-13.4	-11.6	-4.5	-3.7	-4	-6.2
7	-7.8	1.7	0	-0.5	-1	-2	-1.6	-30.2	-23.8	-17.7	-16.3	-17	-13.9	-22
8	-4.6	1.9	0.9	-2.9	-1.9	-1.6	0.3	-14.3	-14.1	-3.4	-11.1	-8	-7.8	-8.8
9	-10.5	-1.3	0.8	1.5	0.3	-0.9	-1.3	-19.2	-12.3	-7.3	-6.5	-5.6	-8.2	-9.7
10	-6.3	0.4	0.7	-1.6	0.6	-1.9	-1.2	-15.6	-14.7	-9.1	-7.7	-4.1	-10	-13
11	-8.3	-2.4	-0.4	-1.3	-1.6	-1.7	-0.9	-22.3	-20.6	-17.4	-15.9	-14	-14.2	-14
12	-8.6	-2	-2	-3.3	-2	-1.5	-0.7	-17.2	-15.7	-14.1	-17.5	-11	-14.4	-16
13	-2.6	-0.1	-2.4	-1.3	-1.3	-0.6	-0.3	-23.1	-15.7	-22.4	-19.6	-21	-21	-29
14	-3	2.6	-1.8	-1.1	-0.4	-0.2	0.7	-13.9	-10.5	-10.1	-7.9	-5	-8.2	-9.8
15	-2.9	2.5	0.7	-2.7	-0.9	-0.5	0.8	-21.4	-14.9	-16.4	-20.4	-18	-17.7	-27
16	-4.2	-1.9	-0.9	-2.2	-0.1	-1.4	0.8	-26.9	-13.1	-17.6	-17.5	-22	-24	-26
17	-0.3	-2.3	1.6	-2.3	-1.9	-0.9	1.1	-20.5	-19.7	-12.2	-15.5	-18	-12.3	-16
18	-2.2	1.9	0.5	-1.5	0.5	0.2	1.8	-22.6	-16.1	-17.4	-8.5	-7.7	-13	-12
19	-1.6	1.4	1.6	0.3	0.1	0	1.7	-17.2	-11.1	-4.3	-6.5	-5.4	-8.8	-10
20	-2.4	-3.6	1.3	-2.2	-2.8	-0.1	1.4	-13.4	-17.2	-20.3	-15.5	-15	-14.9	-19
21	-0.4	-1	1.6	-2	0	0.1	0.7	-17.4	-16.2	-21.4	-18.3	-14	-16.3	-19
22	0.1	-1.9	-1.5	-3.2	-2	0.1	0.7	-14.2	-15.3	-7.2	-16.5	-13	-10.2	-14
23	-2.8	6	1.2	0.4	0.8	3	3.9	-15.1	-11.2	-9.2	-9.2	-9	-15.3	-13
24	-0.3	2.3	0.5	0.4	1.1	2	2.2	-17.5	-20.2	-21.6	-22.7	-24	-24.5	-28
25	-4.6	-1.5	1.3	-3	-1.5	1.2	1	-19.3	-18.8	-8.4	-18.4	-19	-18	-26
26	-5.5	-4.6	-1.7	-2.6	-1	2.6	2	-24.2	-22.4	-11.3	-11	-6.5	-3.3	-33
27	-4.9	-3.7	-3.7	-3.1	-2.3	-1.3	2.9	-21.8	-30.7	-20.6	-16.9	-9.5	-24.1	-25
28	-3.7	-1.3	-6.2	-0.8	-1	3.5	3.1	-13.8	-22.3	-23.5	-6.7	-25	-26.6	-27
29	-4.3	-2.2	-6.5	-4.2	-2.3	-0.1	1.7	-14.1	-23.7	-23.6	-26.5	-27	-27.2	-30
30	1.5	-2.9	0.1	1.5	-3	1	5.1	-17.9	-20.7	-5.8	-4.6	-10	-3	-2.2
31	0.2	-4.7	-1.5	-0.7	-2.4	-0.5	3.4	-19.3	-21.8	-7.3	-10.1	-8.4	-5.3	-2.6
32	-2.4	-6.6	0.9	-2.3	-2.4	0.5	3.8	-19	-19.1	-5.2	-10.6	-9.5	-3.8	-3.2
33	2.7	-6.6	-0.6	1.7	-2	1.1	2.4	-17.9	-19.4	-8	-3.2	-7.3	-2.9	-37
34	-0.5	-4.6	-1.5	1	-2	0.4	4.8	-17.3	-18	-7.7	-3.9	-8.8	-31.7	-1
35	-4.6	-8.9	-3.1	-3	-1.6	0	3.8	-24	-23.4	-14.4	-11	-5.6	-3.7	-2.2

Показник мовної ясності відображає співвідношення енергії, що приходить на місце прослуховування (місце знаходження учасника засідання) до 50 мс до енергії, що приходить після 50 мс. Таким чином, чим вище енергія ранніх віддзеркалень та прямого звука, тим вище розбірливість мовного контенту.

На рис. 9–12 наочно простежується тенденція зміни показника ясності, що дає можливість оцінити співвідношення енергій, що приходять на місця знаходження учасників засідання та зробити висновки:

1) при акустичному варіанті практично на всіх точках вимірювання спостерігається значення C_{50} , яке

перевищує граничне значення -2 дБ, що цілком може забезпечити якість складу вище 95%.

На рис. 9–10 представлені значення C_{50} на частоті 1000 Гц, а аналіз результатів табл. 5 показує, що і частотах від 1000 Гц до 8000 Гц отримані значення задовольняють вимогу перевищення рівня -2 дБ, а саме в цій області лежать спектри приголосних, що несуть смислове навантаження в мовному контенті. Спостерігається зниження показника в області низьких частот, що при підвищеному часі реверберації може призвести до зниження загальної ясності та чіткості.

При аналізі значень табл. 5 – показників прямого звуку C_7 – можна зробити висновок про те, що використання ненаправленого джерела, розташованого в районі трибун, забезпечує достатню

кількість прямого звуку, що позитивно впливає на мовну якість C_{50} . Наявність зон (точки 27, 28, 29), з переважанням звуку, що ревербує, та низькими показниками C_{50} і C_7 в цих точках, обумовлено фокусуванням звукових променів в цій області за рахунок особливостей геометрії залу та відсутністю заходів щодо додаткового звукопоглинання огорожувальними поверхнями залу.

Досить низькі значення якості отримані в бічних секторах балконів, що пояснюється розташуванням ненаправленого джерела та може бути скориговано оптимальним розміщенням джерела звукового сигналу.

При використанні в якості джерела звуку існуючу систему звукопідсилення показники мовної

якості стають гіршими (рис. 11–12), що пояснюється неоптимальним розташуванням джерел звуку та зниженням енергії прямого звуку, що підтверджується табл. 6.

Недостатня кількість енергії ранніх віддзеркалень, які прийшли в передній півплощині, призводить до істотного зниження показників розбірливості. Недостатня кількість енергії прямого звуку різко знизить всі показники якості та чіткості мовного контенту і при підвищенні фонового шуму, що властиво для досліджуваного залу, під час експлуатації.

На рис. 13–16 для двох варіантів джерела звуку представлені значення відсотка артикуляційних втрат для всіх 35 точок вимірювання.

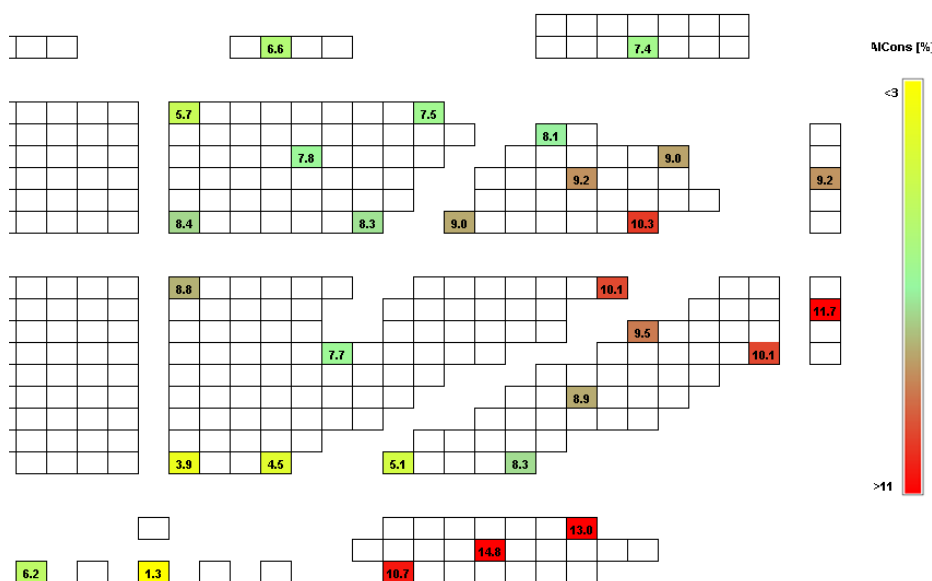


Рис. 13. Відсоток артикуляційних втрат приголосних %ALcons на першому поверсі залу (джерело звуку - тестова акустична система)

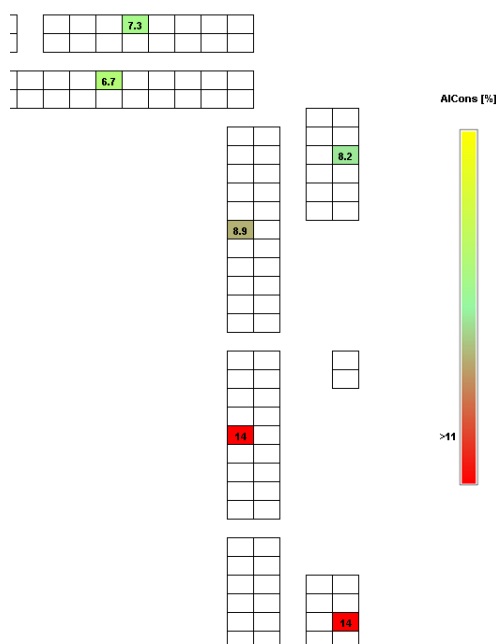


Рис. 14. Відсоток артикуляційних втрат приголосних %ALcons на балконі (джерело звуку - тестова акустична система)

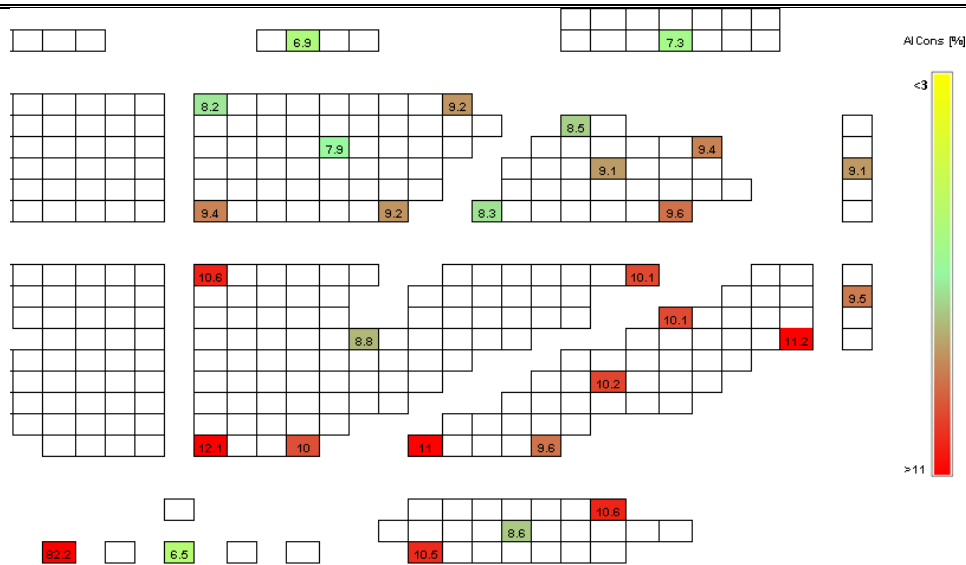


Рис. 15. Відсоток артикуляційних втрат приголосних %ALcons на першому поверсі залу (джерело звуку - існуюча система озвучування)

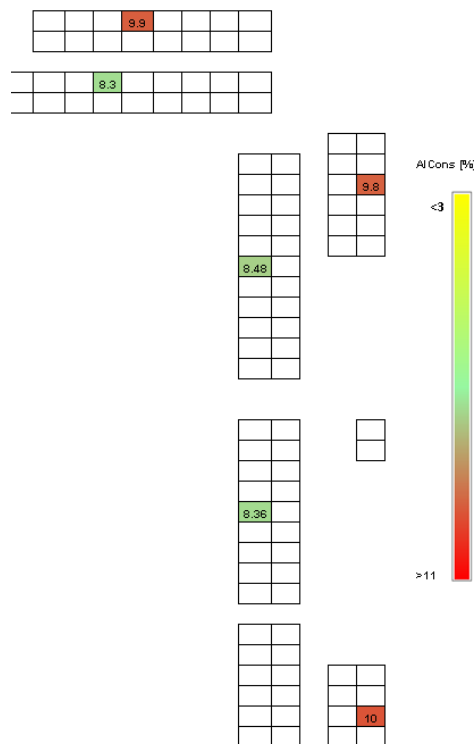


Рис. 16. Відсоток артикуляційних втрат приголосних %ALcons на балконі (джерело звуку - існуюча система озвучування)

Аналіз отриманих результатів дозволив зробити наступні висновки:

- на всіх 35 точках вимірювань, при використанні одного ненаправленого джерелі тестового сигналу, відсоток артикуляційних втрат належить діапазону за шкалою мовної ясності від "Погано" до "Добре";

- для варіанту електроакустичного розрахунку (джерело звуку-існуюча система звукопідсилення) показник %ALcons на всіх місцях знаходження учасників засідання стає ще вище, що межує з показниками за шкалою ясності "Погано".

Отримані значення %ALcons, характерні для залів з низьким рівнем прямого звуку, що

потрапляють на місця прослуховування (місця знаходження учасників засідання), невірно сформованою структурою ревербераційного процесу на місцях, низьким звукопоглинанням огорожувальних поверхонь, відсутністю заходів з організації структури приходу раних віддзеркалень.

На рис. 17-20 для двох варіантів розрахунку представлені значення індексу передачі мови для всіх 35 точок вимірювання. На рис. 21-24 для двох варіантів розрахунку представлені значення швидкого індексу передачі мови (RASTI) для всіх 35 точок вимірювання.

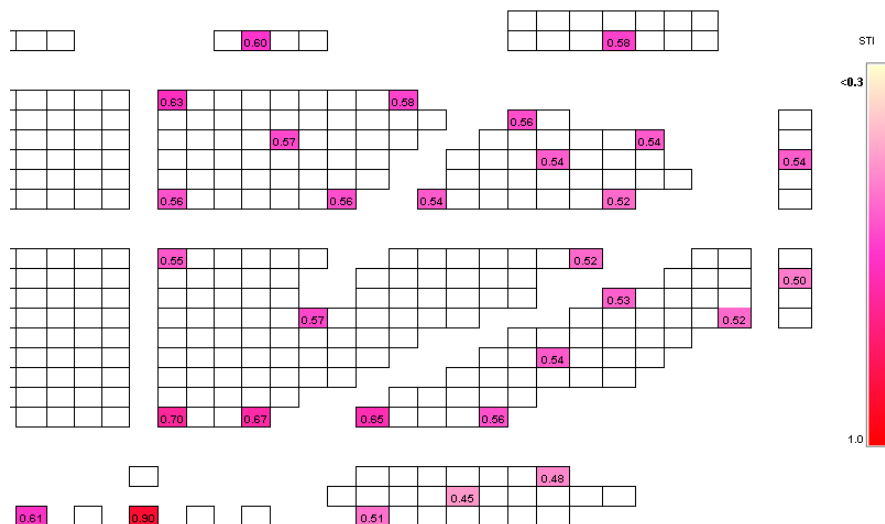


Рис. 17. Індекс передачі мови STI на першому поверсі залу (джерело звуку - тестова акустична система)

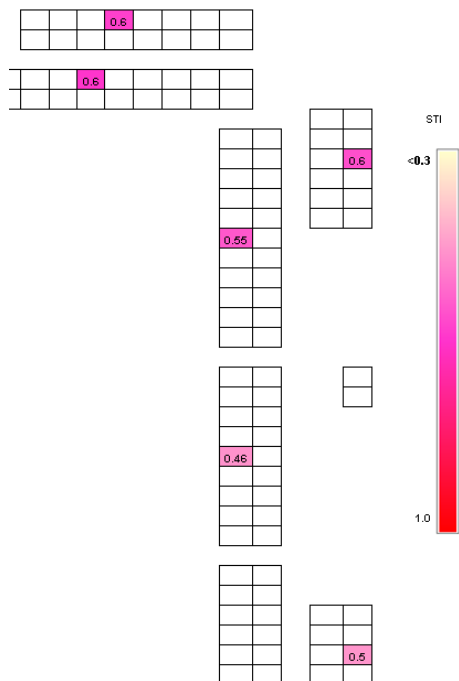


Рис. 18. Індекс передачі мови STI на балконі (джерело звуку - тестова акустична система)

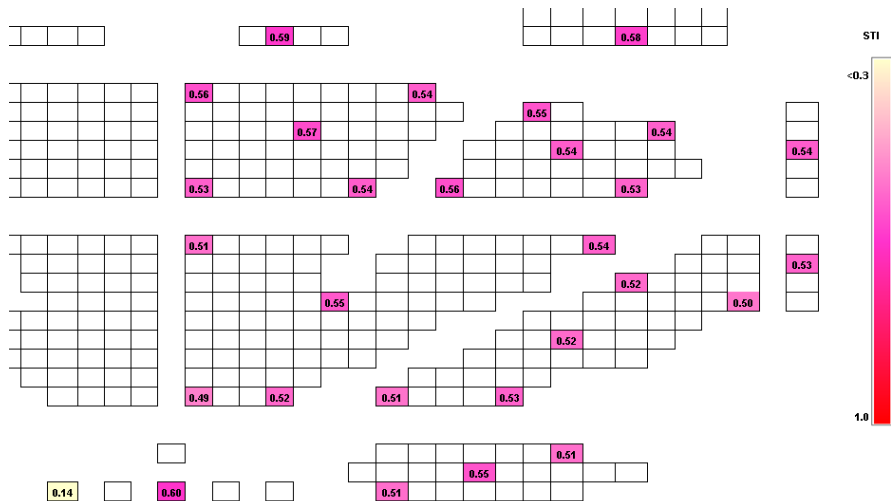


Рис. 19. Індекс передачі мови STI на першому поверсі залу (джерело звуку - існуюча система озвучування)

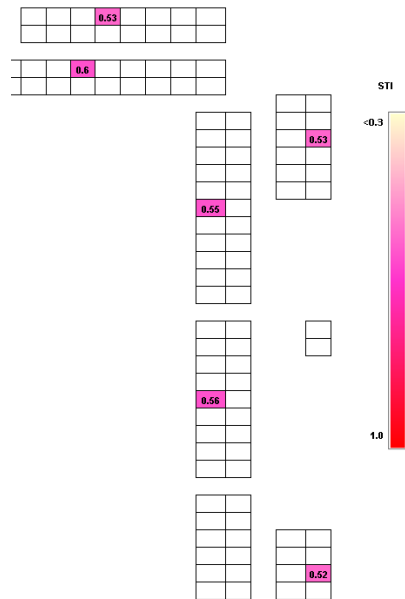


Рис. 20. Індекс передачі мови STI на балконі (джерело звуку - існуюча система озвучування)

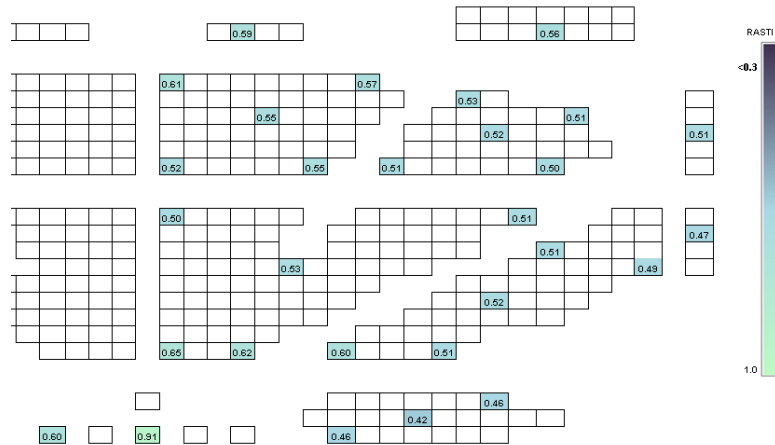


Рис. 21. Індекс передачі мови RASTI на першому поверсі залу (джерело звуку - тестова акустична система)

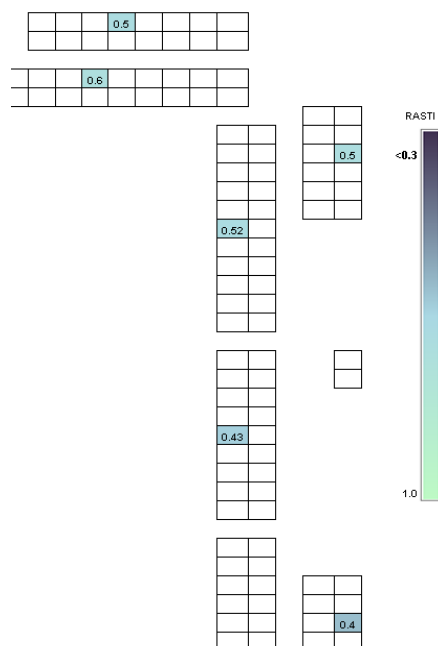


Рис. 22. Індекс передачі мови RASTI на балконі (джерело звуку - тестова акустична система)

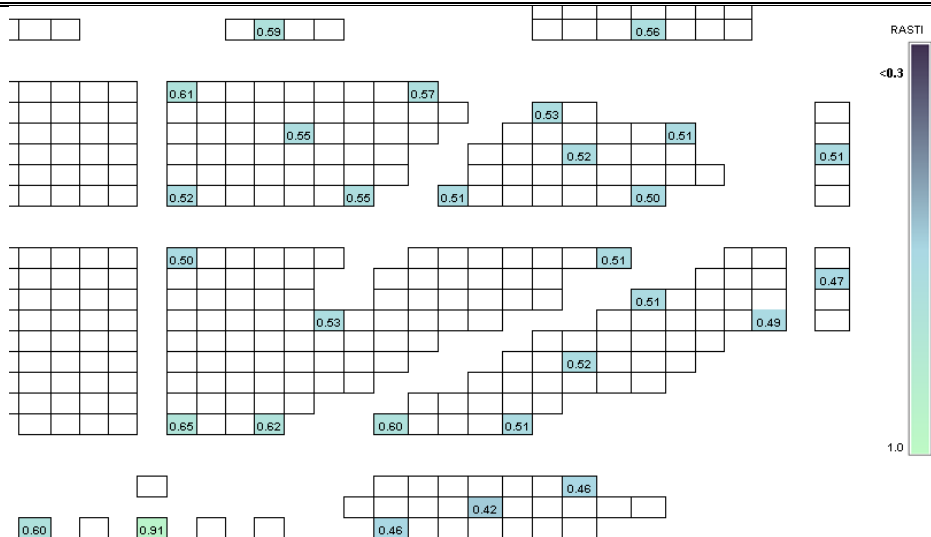


Рис. 23. Індекс передачі мови RASTI на першому поверсі залу (джерело звуку - існуюча система озвучування)

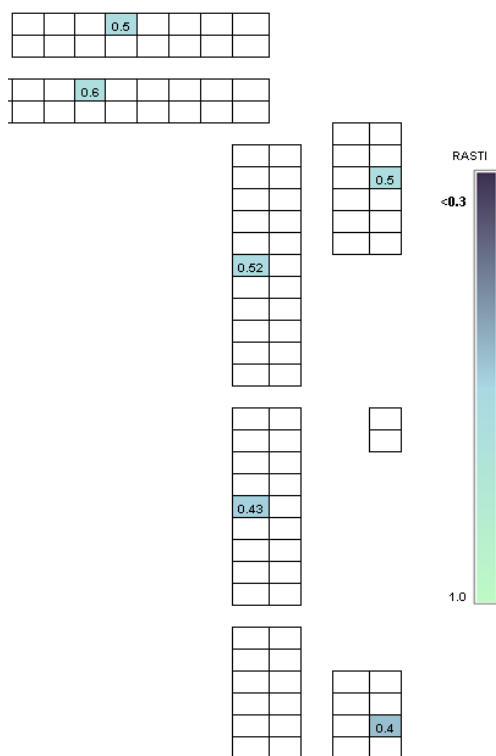


Рис. 24. Індекс передачі мови RASTI на балконі (джерело звуку - існуюча система озвучування)

Аналіз, отриманих в результаті вимірювань та представлених на рис.17-24, значень індексу передачі мови (STI) і швидкого індексу передачі мови (RASTI) показав:

- показники складової ясності мають значення, які належать до області "Задовільно" і "Добре", що не є прийнятним для мовних залів та приміщень, де розбірливість та ясність мовного контенту має належати області значень, які відносяться до "Дуже добре" та "Відмінно" (максимальна складова ясність 96%);

- значення індексу передачі мови містить значення, які стосуються області "Слабо" та "Середньо" при включенні існуючої системи звукопідсилення та значення від "Середньо" до

"Відмінно" при використанні ненаправленого джерела. Така відмінність у показниках зумовлено тим, що на значення показників індексу передачі мови та швидкого індексу передачі мови впливає співвідношення енергії прямого звуку та енергії відбитих звуків, а також співвідношення рівнів сигнал/шум.

При використанні ненаправленого джерела на місцях знаходження учасників засідання присутня достатня кількість енергії прямого звуку, що приходить в передній півплощині, а при використанні системи звукопідсилення прямий звук від системи приходить з тилу, де роздільна здатність людського слуху низька, тому в передній півплощині звукова енергія формується завершальним відрізком

ревербераційного процесу за рахунок багаторазових перевідбиттів.

4. Загальні висновки виконання етапу акустичної експертизи

В рамках проведення четвертого етапу акустичної залу експертизи в якості першого етапу були проведені вимірювання імпульсних відгуків у 35 точках приміщення з подальшим усередненням результатів в кожній точці вимірювання (в кожній точці отримано по три імпульсних відгуки).

Оцінка параметрів звукового поля проводилася в умовах, коли в якості джерела тестових сигналів використовувалось ненаправлене джерело та коли в якості джерела виступала існуюча система звукопідсилення.

Аналіз частотних залежностей часу реверберації та раннього часу спаду дозволяє припустити, що в досліджуваному залі проведена недостатня кількість заходів щодо створення оптимальних акустичних умов якісної передачі мовного контенту:

- час реверберації в приміщенні значно перевищує оптимальний час реверберації в усьому діапазоні частот від 125 Гц до 8000 Гц, що суттєво позначається на зниженні якості відтворення мовного контенту;

- тенденція графіків частотної залежності часу реверберації також має явний підйом в області низьких частот, що має позитивний вплив на музичний контент, але призводить до зниження розбірливості мовного контенту;

- аналіз значень раннього часу спаду показує стійку тенденцію до зростання значень в середньо частотній області, що зумовлено малим поглинанням огорожувальних поверхонь та, як наслідок, зниження розрізнення та ясності звукового контенту;

- для корекції акустичних властивостей залу необхідно:

- 1) проведення заходів по заміні акустичної обробки огорожувальних поверхонь приміщення зали з можливою корекцією геометрії;

- 2) обґрунтований вибір та використання системи озвучення та конгрес системи (на заміну існуючих систем) з урахуванням особливостей геометрії залу, акустичних умов, експлуатаційних особливостей, звукового контенту.

Аналіз показників ясності та розбірливості на всіх 35 контрольних точках дозволив виявити різницю між показниками, що отримані при використанні ненаправленого джерела (акустичний варіант), та існуючої системи звукопідсилення (електроакустичний варіант), а саме:

- 1) при акустичному варіанті досліджень практично на всіх точках вимірювання спостерігається значення C_{50} , яке перевищує граничне значення -2 дБ, що цілком може забезпечити ясність складу вище 95%. Спостерігається зниження показника в області низьких частот, що при підвищеному часі реверберації призводить до зниження загальної ясності та чіткості.

- 2) аналіз показників прямого звуку C_7 (акустичний варіант) довів, що використання ненаправленого джерела, розташованого в районі трибун, забезпечує достатню кількість прямого звуку, що позитивно впливає на мовну ясність C_{50} .

Наявність зон (точки 27, 28, 29), з переважанням звуку, що реверберує, та низькими показниками C_{50} та C_7 в цих точках, обумовлено фокусуванням звукових променів в цій області за рахунок особливостей геометрії залу та відсутністю заходів щодо додаткового звукопоглинання огорожувальними поверхнями залу. Деякі особливості показників, що отримані в бічних секторах балконів, пояснюються розташуванням ненаправленого джерела та може бути скориговано оптимальним розміщенням джерела звукового сигналу.

- 3) аналіз показників розбірливості мови (акустичний варіант) підтвердив припущення про незадовільні значення чіткості мовного контенту, а саме:

- відсоток артикуляційних втрат (%ALcons) належить діапазону за шкалою мовної ясності від "Погано" до "Добре";

- показники складової ясності (індекс передачі мови STI і швидкий індекс передачі мови RASTI) мають значення, які належать до області "Задовільно" і "Добре", що не є прийнятним для мовних залів та приміщень, де розбірливість та ясність мовного контенту має належати області значень, які відносяться до "Дуже добре" та "Відмінно" (максимальна складова ясність 96%).

- 4) для підвищення показників ясності та розбірливості мовного контенту потрібно не тільки приділити увагу підвищенню звукопоглинання поверхонь, але и вжити заходів по організації структури ревербераційного процесу на місцях учасників засідання.

- 5) при електроакустичному варіанті досліджень показники мовної ясності стають набагато гіршими, що пояснюється неоптимальним розташуванням джерел звуку і, як наслідок, прямий звук від джерел приходить з тилу, де розділова здатність людського слуху низька, тому в передній півплощині звукова енергія формується завершальним відрізком ревербераційного процесу за рахунок багаторазових перевідбиттів.

Показники розбірливості мовного контенту різко погіршуються: показник %ALcons на всіх місцях учасників засідань межує з показниками за шкалою ясності "Погано"; значення індексу передачі мови (STI) містить значення, які стосуються області "Слабо" та "Середньо"; складова ясність знаходиться в межах "Добра".

Недостатня кількість енергії прямого звуку (низькі значення C_7) різко знижує всі показники ясності та чіткості мовного контенту, а при підвищенні фонового шуму, що властиво для досліджуваного залу, досягнуть критично несприятливих значень.

б) аналіз імпульсних відгуків при електроакустичному варіанті досліджень виявив ряд особливостей:

- на деяких точках вимірювання імпульсний відгук має характерні ділянки до самого імпульсу та набагато пізніше ніж сам імпульс (рис. 25-27). Наявність таких сплесків до тестового сигналу говорить наявності фону, створюваного безпосередньо

системою звукопідсилення (таких сплесків немає, коли використовується один ненаправлений джерело рис. 28). Пізні сплески енергії підтверджують висновок про наявність огорожувальних поверхонь з малим звукопоглинанням (багато звуковідбивальних поверхонь досить великих розмірів). Виявлені особливості імпульсних відгуків різко знижують всі одержувані в рамках експертизи характеристики.

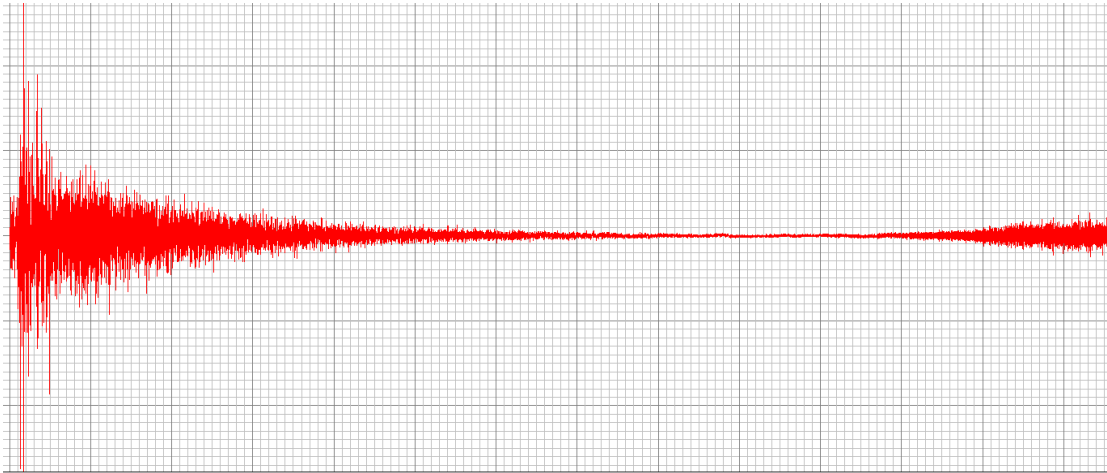


Рис. 25. Імпульсний відгук в точці вимірювання №4 (джерело звуку - існуюча система звукопідсилення)

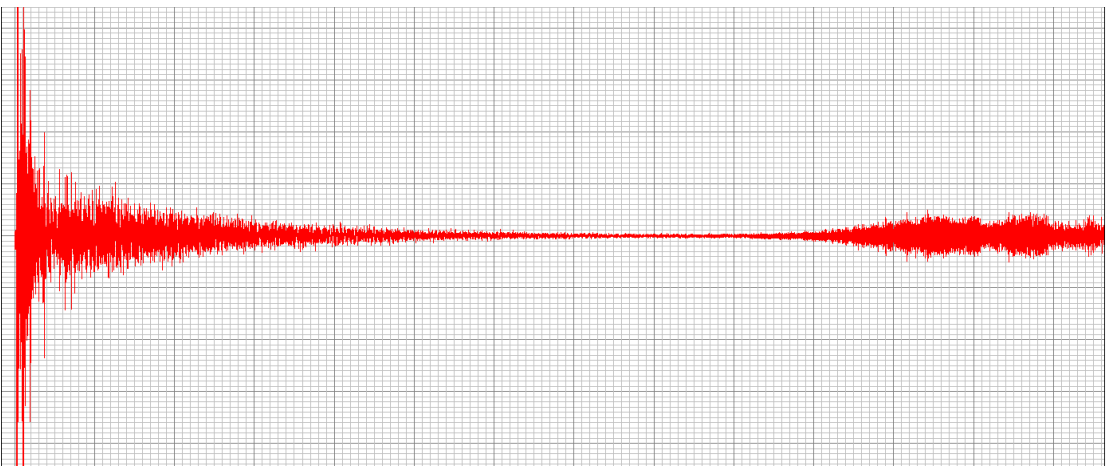


Рис. 26. Імпульсний відгук в точці вимірювання №15 (джерело звуку - існуюча система звукопідсилення)

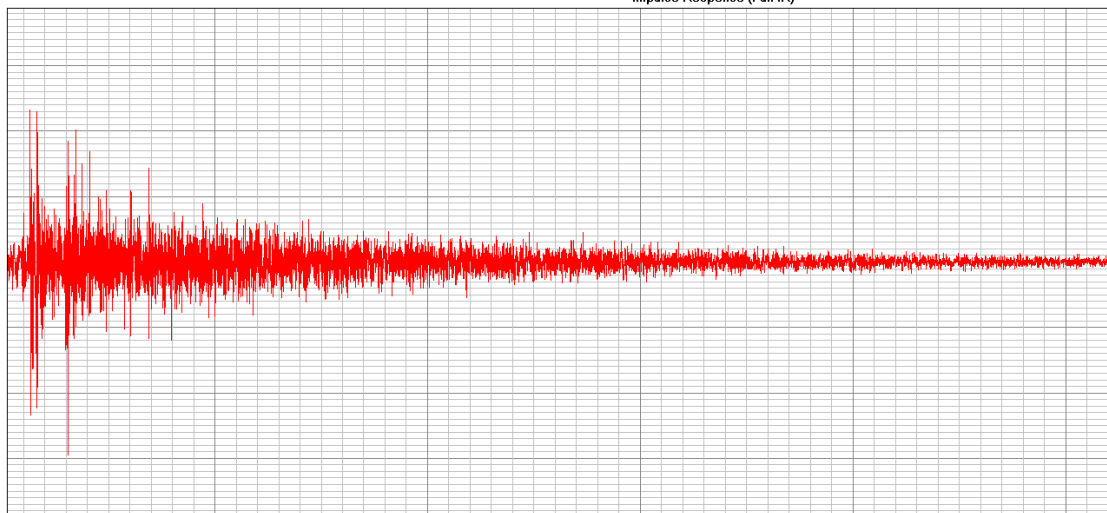


Рис. 27. Імпульсний відгук в точці вимірювання №17 (джерело звуку - існуюча система звукопідсилення)

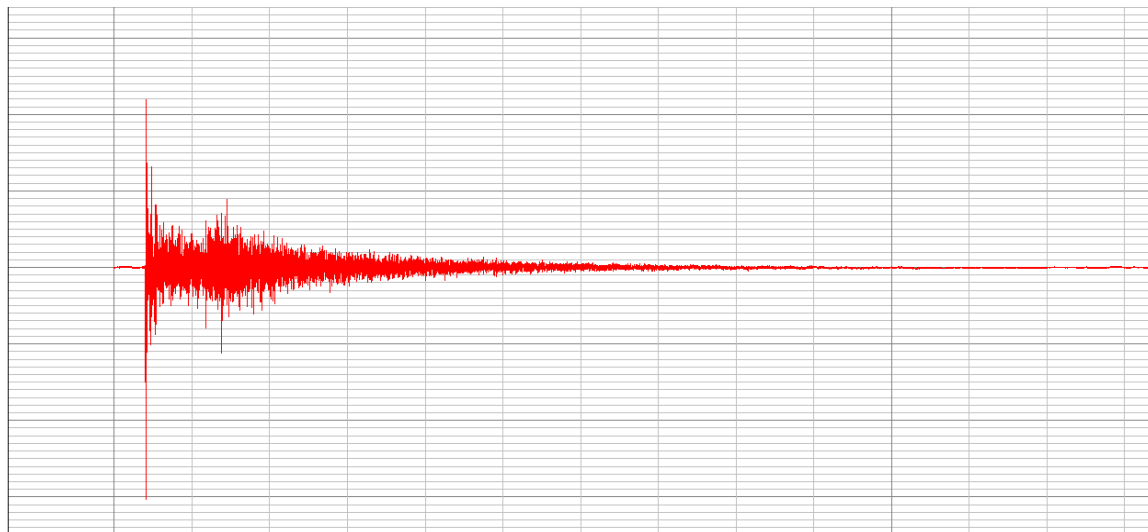


Рис. 28. Імпульсний відгук в точці вимірювання №4 (джерело звуку - ненаправленої)

7) для створення оптимальних акустичних умов якісної передачі мовного контенту від спікерів до учасників засідання недостатньо тільки заходів з підвищення звукопоглинання огорожувальних поверхонь та формуванню оптимальної структури ревербераційного процесу, за рахунок зміни геометрії деяких огорожувальних поверхонь, але потрібно також приділити особливу увагу вибору та розрахунку системи озвучення залу та конгрес системи.

оцінки акустики приміщення залу засідань, дозволив виявити суттєві недоліки у формуванні звукового поля та об'єктивні причини їх виникнення. Використання вимірювального етапу до початку етапу перевірки існуючих архітектурно-будівельних рішень дозволив сформулювати причини зниження об'єктивних показників звукового поля, критеріїв оцінки ясності та чіткості мовного контенту, провести оцінку існуючої системи озвучування.

Запропонована послідовність, що застосовується для приміщень з особливими умовами, дає можливість підвищити якість проведення наступних етапів акустичної експертизи за рахунок отриманого уявлення про особливості формування звукового поля та виявлення причин незадовільної акустики приміщення.

Висновки

У матеріалах статті авторами розглянуто приклад використання останнього завершального етапу акустичної експертизи в якості першого. Аналіз отриманих результатів, проведений на прикладі

Список літератури

1. Russo D., Ruggiero A. Choice of the optimal acoustic design of a school classroom and experimental verification. *Applied Acoustics*. 2019. Vol. 146. P. 280-287. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.11.019>.
2. Barteld N. J. Postma S. J., Brian F. G. Katz. Pre-Sabine room acoustic design guidelines based on human voice directivity. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2018. №143. P.2428-2437.
3. Щиржецкий Х. А., Борисов Л. А. Акустика зальных помещений. *Сцена*. 2002. №2. С. 21.
4. Анерт В., Стефен Ф. Техника звукоусиления. Теория и практика / пер. с англ. М: ООО "ПКФ Леруша". 2003. 416 с.
5. ISO 3382:2009. Acoustics - Measurement of room acoustic parameters. Part 1: Performance spaces. 2009.
6. ISO 3382-3:2012. Acoustics - Measurement of room acoustic parameters. Part 3: Open plan offices Performance spaces. 2009.
7. ISO 3382-1:2009 Acoustics - Measurement of room acoustic parameters. Part 1: Performance spaces. 2009.
8. ДБН В.2.2-16-2005. Будинки і споруди. Культурно-видовищні та дозвілєві заклади. Держбуд України. Київ. 2005.
9. Ahnert W., Schmidt W. Fundamentals to perform acoustical measurements. 2005. P. 1-49.
10. Ahnert W., Schmidt W. EASERA Users Manual. 2005. 212 p.
11. Усик В. В., Зубченко Д. С. Разработка аппаратно-программного комплекса для измерения объективных параметров акустики помещения. *Научно-технический журнал. Технология приборостроения. Спец.выпуск*. 2014. С. 36-40.
12. Усик В. В., Мякий И. Г. Использование первых двух этапов акустической экспертизы помещений зрительных залов на примере драматического театра на 500 мест. *Научно-технический журнал "Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті"*. Харьков, 2017, № 5. С. 26-34.
13. Порошин С. М., Усик В. В. Методика проведения акустической экспертизы и архитектурно-строительных решений для зрительных залов на примере драматического театра на 500 мест. *Сбірник наукових праць VI Міжнародний радіоелектронний форум. Прикладна радіоелектроніка. Стан та перспективи розвитку (МРФ – 2017)*. Харьков, 2017. С. 125-130.

14. Порошин С. М., Усик В. В. Методология оценки акустических свойств помещений зрительских залов. World Science. 2018. Vol. 1. № 1 (29), С. 8–15.
15. Usik V. V. The hardware-software complex for measuring sound field characteristics in a room at the final stage of the acoustic examination. Metrology and metrology assurance 2018. Proceedings of the 28 International scientific symposium. Sozopol, 2018. P. 233–236.
16. Poroshin S., Usik V., Butova O. Features of the application of the methodology for assessing the acoustic properties of the sound field for spectator rooms. XXIX International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance 2019 (MMA 2019) Sozopol, 2019. P. 145–149. DOI: <https://doi.org/10.1109/MMA.2019.8936027>.

References

1. Russo, D., Ruggiero, A. (2019), "Choice of the optimal acoustic design of a school classroom and experimental verification", Applied Acoustics, Vol. 146, P. 280–287. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.11.019>
2. Barteld, N. J., Postma, S. J., Brian, F. G. K. (2018), "Pre-Sabine room acoustic design guidelines based on human voice directivity", The Journal of the Acoustical Society of America, No. 143, P. 2428–2437.
3. Shirzhetsky, H. A., Borisov, L. A. (2002), "Acoustics of halls" ["Akustika zal'nykh pomeshcheniy"], The magazine Scene, No. 2, P. 21.
4. Anert, V., Stephen, F. (2003), Sound amplification technique. Theory and practice [Tekhnika zvukousileniya. Teoriya i praktika], Ed. OOO PKF Lerusha, 416 p.
5. ISO 3382:2009 (2009), Acoustics - Measurement of room acoustic parameters. Part 1: Performance spaces.
6. ISO 3382-3:2012 (2009), Acoustics - Measurement of room acoustic parameters. Part 3: Open plan offices Performance spaces.
7. ISO 3382-1:2009 (2009), Acoustics - Measurement of room acoustic parameters. Part 1: Performance spaces.
8. DBN B.2.2-16-2005 (2005), Buildings and structures. Cultural, entertainment and leisure facilities. State Construction Committee of Ukraine, Kiev.
9. Ahnert, W., Schmidt, W. (2005), "Fundamentals to perform acoustical measurements", P. 1–49.
10. Ahnert, W., Schmidt, W. (2005), EASERA, Users Manual, 212 p.
11. Usik, V. V., Zubchenko, D. S. (2014), "Development of a hardware-software complex for measurement of objective parameters of room acoustics" ["Razrabotka apparatno-programmnogo kompleksa dlya izmereniya ob'ektivnykh parametrov akustiki pomeshcheniya"], Scientific and technical journal "Technology of instrument making", Special issue, P. 36–40.
12. Usik, V. V., Myagkiy, I. G. (2017), "The use of the first two stages of acoustic examination of auditoriums on the example of a drama theater for 500 seats", Scientific and technical journal "Information and control systems for railway transport", No. 5, P. 26–34.
13. Poroshin, S. M., Usik, V.V. (2017), "Methods of conducting acoustic examination and architectural and construction solutions for auditoriums on the example of a drama theater for 500 seats" ["Metodika provedeniya akusticheskoy ekspertizy i arkhitekturno-stroitel'nykh resheniy dlya zritel'nykh zalov na primere dramaticheskogo teatra na 500 mest"], Collection of scientific works VI International Radio-Electronic Forum "Applied Radio Electronics. Status and Prospects of Development", P. 125–130.
14. Poroshin, S. M., Usik, V.V. (2018), "Methodology for assessing the acoustic properties of auditorium rooms" ["Metodologiya otsenki akusticheskikh svoystv pomeshcheniy zritel'skikh zalov"], World Science, No. 1 (29), Vol. 1, P. 8–15.
15. Usik, V. V. (2018), "The hardware-software complex for measuring sound field characteristics in a room at the final stage of the acoustic examination", Metrology and metrology assurance 2018. Proceedings of the 28 International scientific symposium. Sozopol, P. 233–236.
16. Poroshin, S., Usik, V., Butova, O. (2019), "Features of the application of the methodology for assessing the acoustic properties of the sound field for spectator rooms", XXIX International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance 2019 (MMA 2019) Sozopol, P. 145–149. DOI: <https://doi.org/10.1109/MMA.2019.8936027>

Надійшла (Received) 19.08.2021

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Порошин Сергій Михайлович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", завідувач кафедри мультимедійних інформаційних технологій і систем, Харків, Україна; email: poroshin0020@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2583-9916>.

Порошин Сергей Михайлович – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", заведующий кафедрой мультимедийных информационных технологий и систем, Харьков, Украина.

Poroshin Sergei – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Head of the Department of Multimedia Information Technologies and Systems, Kharkiv, Ukraine.

Усик Вікторія Валеріївна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", професор кафедри мультимедійних інформаційних технологій і систем, Харків, Україна; email: usik.viktorya@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3515-4849>.

Усик Вікторія Валеріївна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", професор кафедри мультимедійних інформаційних технологій і систем, Харків, Україна.

Usik Victoriya – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor Department of Multimedia Information Technologies and Systems, Kharkiv, Ukraine.

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧЕТВЕРТОГО ЭТАПА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ ДЛЯ ПОМЕЩЕНИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Предметом исследования в статье является методология проведения экспертизы помещений с целью создания оптимальных акустических условий в зависимости от назначения помещения. **Цель** - повышение качества проведения всех этапов акустической экспертизы с учетом помещений, для которых существуют особые требования к качеству передаваемого контента или для которых есть особенности в формировании звукового поля. Для достижения поставленной цели, авторами в статье предложена новая последовательность проведения этапов акустической экспертизы, а именно, использование завершающего (четвертого) этапа в качестве первого. Такая последовательность проведения этапов требует решения нескольких **задач**: определение условий проведения исследований с учетом специфики помещения и контента; выбор аппаратно-программного комплекса для проведения исследований; определение информативных критериев оценки акустики помещения с учетом всех его особенностей; обработка и анализ полученных результатов. Применение такого подхода к этапам акустической экспертизы было рассмотрено на примере зала заседаний, для которого присутствовали требования к высокому качеству речевого контента, в зале уже использовалась система звукоусиления, были особенности в формировании звукового поля. Авторами в статье описаны решения всех поставленных задач для исследуемого помещения. Полученные **результаты** позволили проанализировать объективные характеристики звукового поля и выявить причины низкого качества передачи речевого контента не только при акустическом расчете, но при использовании существующей систем звукоусиления (электроакустический расчет). **Выводы.** Предложенная последовательность проведения этапов акустической экспертизы дает возможность выявить "проблемные" места в формировании звукового поля и/или определить возможные пути решения еще до начала этапов проверки существующих архитектурно-строительных решений и разработки технического задания на конструкции ограждающих поверхностей и мероприятий по созданию оптимальных акустических условий.

Ключевые слова: акустическая экспертиза; объективные характеристики звукового поля; критерии оценки акустики помещения.

SPECIFIC FEATURES OF USING THE FOURTH STAGE OF ACOUSTIC EXPERTISE FOR SPECIAL PURPOSE PREMISES

The **subject** of the report is the methodology of carrying out an examination of the application for the purpose of establishing the optimal acoustic minds in the prevalence of attribution. The **goal** is to improve the quality of all stages of acoustic examination, taking into account the premises for which there are special requirements for the quality of the transmitted content or for which there are features in the formation of the sound field. Such a sequence of stages requires the solution of several **tasks**: determining the conditions for conducting research, taking into account the specifics of the premises and content; selection of hardware and software complex for research; determination of informative criteria for assessing the acoustics of a room, taking into account all its features; processing and analysis of the results obtained. The application of this approach to the stages of acoustic examination was considered on the example of a conference room, for which there were requirements for high quality speech content, a sound reinforcement system was already used in the hall, and there were features in the formation of a sound field. The authors in the article describe the solutions to all the tasks for the investigated room. The **results** obtained made it possible to analyze the objective characteristics of the sound field and identify the reasons for the low quality of speech content transmission not only in the acoustic calculation, but when using the existing sound reinforcement systems (electroacoustic calculation). **Conclusions.** The proposed sequence of the stages of acoustic examination makes it possible to identify "problem" places in the formation of the sound field and / or to determine possible solutions even before the stages of checking existing architectural and construction solutions and the development of technical specifications for the construction of enclosing surfaces and measures to create optimal acoustic conditions.

Keywords: acoustic examination; objective characteristics of the sound field; criteria for evaluating room acoustics.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Порошин С. М., Усик В. В. Особливості використання четвертого етапу акустичної експертизи для приміщень спеціального призначення. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2021. № 3 (17). С. 41–61. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2021.17.041>

Poroshin, S., Usik, V. (2021), "Specific features of using the fourth stage of acoustic expertise for special purpose premises", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (17), P. 41–61. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2021.17.041>