

УДК 004.9:534.843

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ РЕВЕРБЕРАЦІЇ T20

М.Р. Мельник, А.Б. Керницький

*Національний університет «Львівська політехніка»
вул. Степана Бандери 12, Львів, 79013, Україна*

Досліджено точність методів визначення обвідної сигналу для визначення часу реверберації на основі аналізу результатів 9 натурних експериментів з реєстрації відгуку приміщення на імпульсний шум. На основі проведених досліджень удосконалено метод найменших квадратів та розроблено підсистему для пакетного аналізу зареєстрованих аудіо-файлів.

Ключові слова: час реверберації, T20, метод зворотного інтегрування, метод найменших квадратів.

Постановка проблеми. Відповідно до ISO 3741:2010[1] час реверберації – це час, необхідний для зменшення усередненої за об'ємом густини звукової енергії у замкненому середовищі в $10^{(n/10)}$ разів, тобто, на n дБ після вимкнення джерела шуму. Час реверберації є одним із важливих критеріїв, які визначають акустичну якість будь-якого приміщення. На сьогоднішній день існує багато систем визначення часу реверберації на основі аналізу зареєстрованого імпульсного відгуку приміщення на збудження імпульсним шумом, однак вони дають змогу обробляти тільки по одному аудіо-файлу. Натомість науковці для проведення досліджень з метою удосконалення методів визначення часу реверберації потребують обробляти великі кількості файлів. Саме тому поставлена задача розробити систему, яка б дала змогу автоматизувати процес пакетного опрацювання великої кількості аудіо-файлів, а для цього необхідно вибрати оптимальний метод, або удосконалити існуючий з метою реалізації у системі, що розробляється.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Значний внесок у створення методик розрахунку часу реверберації зробили вчені В.Себін, М.Шредер, Л.Беранек, Л.Бреховських, К.Ейрінг, В.Абракітов та інші [2-4]. Кожна із цих методик дозволила підвищити точність розрахунків, але водночас кожна з них має свої переваги та недоліки. У зв'язку із цим зусилля сучасних дослідників спрямовані на уточнення розрахункових формул часу реверберації [5], а також дослідженню методів визначення обвідної сигналу для знаходження часу реверберації та розробці систем у яких реалізовані ці методи [6].

Мета статті. Дослідити методи знаходження обвідної ревербераційного процесу на прикладі експериментальних даних. Для автоматизації процесу дослідження розробити підсистему, яка дала б змогу в автоматичному режимі визначити час реверберації для всіх зареєстрованих wav-файлів.

Реєстрування відгуку приміщення на імпульсний шум (експеримент). Відповідно до ISO 3382-2 [7], ми вимірюємо час реверберації за допомогою імпульсної перехідної характеристики, яка полягає у зміні в часі звукового тиску в деякій точці приміщення в результаті випромінювання імпульсу Дірака в іншій точці приміщення. З метою зменшення впливу прямого випромінювання мінімальна розрахункова відстань становитиме 2,14 м [5], у нашому випадку найближча відстань від джерела шуму до вимірювального пункту становить 2,8 м, що відповідає вимогам стандарту.

Схема розташування вимірювальних пунктів та джерела імпульсного шуму представлена на рис. 1. Біля кожного вимірювального пункту зазначено максимальний рівень звукового тиску в дБ. В якості джерела імпульсного шуму використано петарди. Постріли здійснювалися на місці де звичайно знаходиться лектор. Мікрофон розміщувався на місці де знаходяться слухові органи слухача, що становить 1,2 м від підлоги.

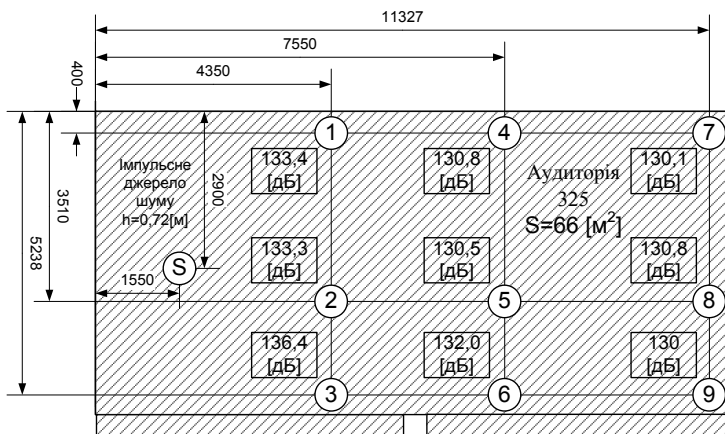


Рис. 1. Схема розміщення вимірювальних пунктів

Імпульсне джерело повинно створювати піковий рівень звукового тиску при якому початковий рівень кривої спаду буде не менше ніж на 35 дБ перевищувати рівень фонового шуму у відповідній смузі частот при вимірюванні T20 [9]. У нашому випадку, як видно з рис. 1. максимальний рівень звукового тиску становить 133,4 дБ. Фоновий рівень звукового тиску 76,5, відповідно, різниця буде $133,4 - 76,5 = 56,9$ дБ, що цілком задовольняє вимогам для знаходження часу реверберації T20.

Із графіку рівня звукового тиску на рис. 2. видно коли відбувся постріл петардою, та як затухає звукова енергія.

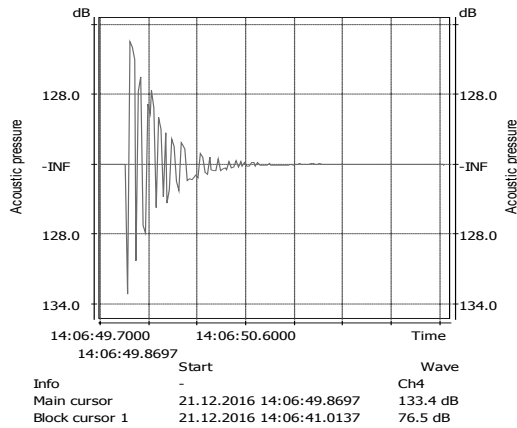


Рис. 2. Імпульсна характеристика

Обладнання та умови проведення експерименту. Для проведення експерименту використовувалось наступне обладнання:

- прецизійний шумомір аналізатор спектру SVAN 958A;
- конденсаторний всенаправлений мікрофон SV22 1/2», спектр вимірювань від 10 Гц до 16 кГц, чутливість 25 мВ/Па дає змогу вимірювати високий рівень шуму;
- петарди (джерело імпульсного шуму);
- лазерний далекомір Bosch GLM30X.

Всі експерименти проводились при кімнатній температурі 22°C та відносній вологості 45%. На рис. 3 показано процес реєстрації відгуку лекційної аудиторії на імпульсне джерело шуму з використанням шумоміра-аналізатора спектру SVAN 958A.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є методи визначення обвідної відгуку приміщення на збудження імпульсним шумом, а саме метод зворотного інтегрування Шредера та метод найменших квадратів.

Проектування підсистеми пакетного опрацювання аудіо-файлів для визначення часу реверберації T20. Підсистема для аналізу зареєстрованих аудіо файлів з відповіддю приміщення на імпульсне збудження розроблялася враховуючи всі вимоги стандарту ISO 3382-2 [7].



Рис. 3 Реєстрація відгуку лекційної аудиторії на імпульсне джерело шуму

При розробленні підсистеми враховано, що необхідно відступити на 5 дБ від пікового значення, та при різниці між піковим значенням та фоновим шумом менше 35 дБ програма видає помилку, що файл не задовільняє вимогам. Підсистема розроблялася у середовищі MatLab, оскільки він має достатні засоби для вирішення подібного роду задач. При розробленні враховано те, що аудіо файли інколи можуть мати невірну контрольну суму і видавати помилку при відкритті у MatLab. Тому розроблено функцію, яка виправляє такі файли та дає змогу їх опрацьовувати. Алгоритм роботи розробленої підсистеми представлено на рис. 4.

Метод змінного середнього. У методі змінного середнього вихідні дані згладжуються за наступним правилом [8]:

$$ys_i = \frac{1}{2N+1} \sum_{k=-N}^N y(i+k) \quad (1)$$

де $2N+1$ - кількість точок, які обирають для згладжування. Тобто, зліва і праворуч від поточної точки вибирається по N точок. Дані, розташовані в точках, близьких до кордонів відрізка не згладжуються, тому що не вистачає точок праворуч або ліворуч від поточної, в якій у даний момент проводиться згладжування.

Саме тому для аналізу у системі, що розробляється аналізується часовий відрізок більший від потрібного, щоб не спотворювалися результати. Так само відрізається весь сигнал, який знаходиться перед піковим значення, адже середнє значення між фоновим шумом і піковим значення значно спотворює результати. Метод змінного середнього використовується перед використанням методу найменших квадратів для знаходження оптимального часового відрізка для аналізу. Без використання попередньої обробки сигналу методом змінного середнього результати визначення часу реверберації мали абсолютну похибку у 5 разів більшу, відповідно, результати були просто неприйнятними. Звідси висновок, що метод найменших квадратів для визначення обвідної сигналу з метою визначення часу реверберації можна використовувати тільки якщо використовується попередня обробка сигналів.

Переведення амплітуди у децибелі. Зареєстрований аудіо-файл, який ми отримуємо із шумоміра Svan958A, містить у кінці інформацію про діапазон вимірювань, опорний рівень звукового тиску та коефіцієнт підсилення. Дані параметри зчитуються підсистемою автоматично. Маючи ці дані підсистема визначає рівень звукового тиску у децибелах за формулою:

$$SPL = 20 \log_{10} \left(\frac{|X| \cdot \text{RefLev}}{\text{PakSens}} \right) \quad (2)$$

де $\text{PAKsen}=0.00249729590104124$ - чутливість для визначення рівня звукового тиску у Па; $\text{RefLev}=20$ [мПа] - опорний звуковий тиск 20 мПа.

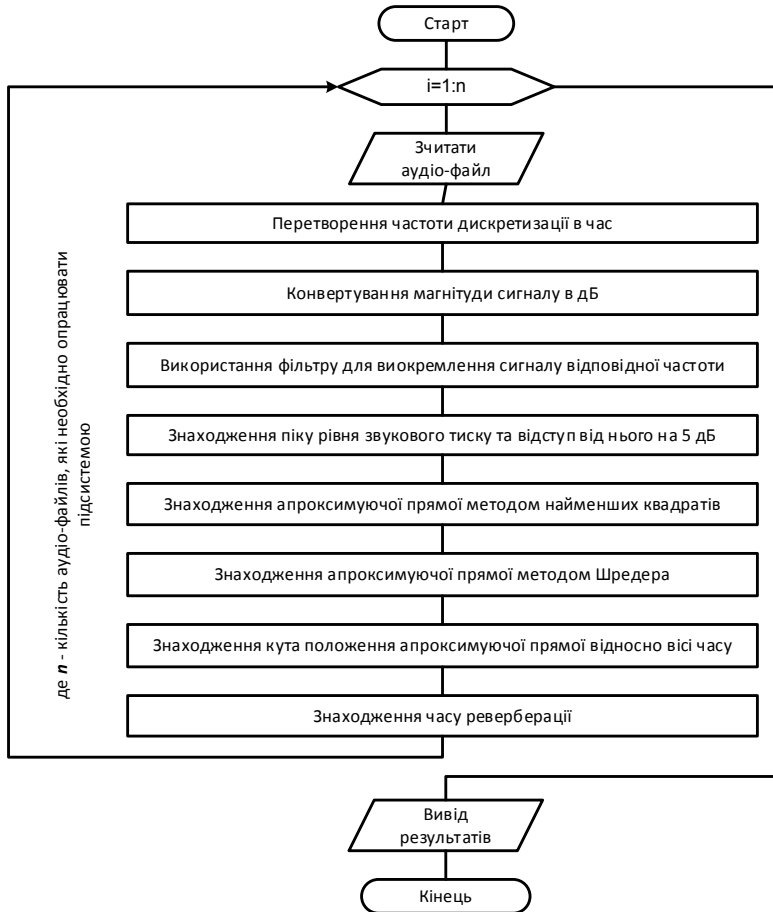


Рис. 4. Алгоритм роботи підсистеми визначення часу реверберації по аудіо-файлах

Результати та їх аналіз. Для дослідження точності роботи підсистеми взято результати часу реверберації T_{20} для частоти $f=500$ Гц, та $f=1000$ Гц, які найчастіше використовуються для оцінки акустичної придатності приміщення. Результати роботи підсистеми та отримані із програми Dirac [9] представлено у табл.1 та табл. 2.

Таблиця 1

Час реверберації T_{20} для частоти $f=500$ Гц., сек

Номер експерименту	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Dirac	1,220	1,230	1,100	1,240	1,220	1,180	1,250	1,150	1,260
Шредер	1,141	1,245	1,246	1,144	1,226	1,235	1,220	1,182	1,269
Найменших квадратів	1,349	1,288	1,309	1,221	1,378	1,383	1,410	1,202	1,284

Таблиця 2

Час реверберації T20 для частоти f=1000 Гц., сек.

Номер експерименту	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Dirac	1,180	1,160	1,130	1,240	1,170	1,260	1,140	1,200	1,260
Шредер	1,199	1,138	1,240	1,136	1,183	1,159	1,171	1,263	1,259
Найменших квадратів	1,283	1,351	1,261	1,307	1,303	1,331	1,155	1,293	1,278

Оскільки ми працюємо із величинами приблизно однакового значення, можна не використовувати відносну похибку, а скористатися тільки абсолютними похибками для оцінки точності методів. Отримані абсолютні похибки методу Шредера та удосконаленого методу найменших квадратів представлено на рис. 5 для частоти 500 Гц та на рис. 6. для частоти 1000 Гц.

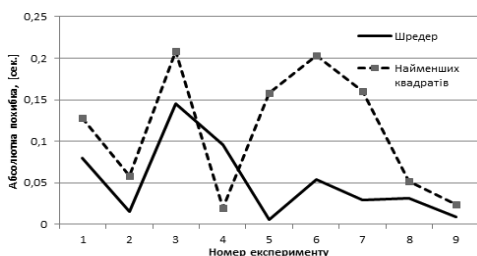


Рис. 5. Абсолютна похибка для частоти 500 Гц

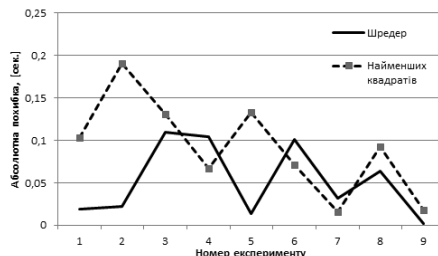


Рис. 6. Абсолютна похибка для частоти 1000 Гц

Як бачимо із графіків на рис. 5 та рис. 6 меншою похибка є у методу Шредера. Щоб краще відобразити різницю, визначимо суму абсолютних похибок всіх експериментів. Результати представлено у табл. 3.

Таблиця 3

Сума абсолютних похибок для 9 експериментів у порівнянні із результатами отриманими із системи Dirac [9]

Частота, [Гц]	Сума абсолютних похибок для 9 експериментів, [сек]	
	Метод Шредера	Метод найменших квадратів
500	0,467	1,012
1000	0,464	0,823

Аналізуючи результати сумарної абсолютної похибки по всіх експериментах бачимо, що максимальна сумарна похибка для методу Шредера становить 0,467 сек, що у 2 рази менше за метод найменших квадратів.

Висновки. Розроблено підсистему, яка дала змогу дослідити на експериментальних даних точність методів зворотного інтегрування та найменших квадратів. На основі результатів досліджень удосконалено метод найменших квадратів використавши попередню обробку сигналу методом змінного середнього. Проте навіть удосконалення не дало змогу досягнути точності ме-

тоту Шредера по відношенню до системи Dirac, що можна пояснити тим, що система Dirac теж використовує метод Шредера. Розроблено математичне та програмне забезпечення підсистеми автоматичної оцінки акустики приміщень імпульсним методом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://www.iso.org/standard/52053.html>
2. Wallace Clement Sabine, *Collected Papers on Acoustics*, New York: Dover Publications, 1964.
3. Leo Beranek and Tim Mellow. *Acoustics: Sound Fields and Transducers*. Elsevier, Oxford, 1st edition, 2012.
4. Абракітов В.Е. Багаторазові відбиття звуку в акустичних розрахунках: Монографія. / В.Е. Абракітов. — Харків : Основа, 2007. —244 — 280с
5. M. Melnyk, A. Kernyskyu, and P. Pukach. «Development of subsystems for reverberation time definition in lecture auditorium.» *Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM)*, 2017 14th International Conference The. IEEE, 2017
6. Богданова Н. В., et al. «Математичне модулювання огинаючої ревербераційного процесу за допомогою алгоритму Шредера.» *Адаптивні системи автоматичного управління* 1.28 (2016): 3-9.
7. <https://www.iso.org/standard/36201.html>
8. Chris Chatfield. *The Analysis of Time Series, an Introduction*. Chapman & Hall, p.33, 1996.
9. <https://www.dirac.com/>

REFERENCES

1. <https://www.iso.org/standard/52053.html> (in English)
2. Wallace Clement Sabine, (1964). *Collected Papers on Acoustics*, New York: Dover Publications. (in English)
3. Leo Beranek and Tim Mellow. (2012). *Acoustics: Sound Fields and Transducers*. Elsevier, Oxford, 1st edition. (in English)
4. Abrakitov V.E. (2007). *Bahatorazovi vidbyttia zvuku v akustychnykh rozrakhunkakh: Monohrafija.* / V.E. Abrakitov. — Kharkiv : Osnoca,—244 — 280s. (in Ukrainian)
5. M. Melnyk, A. Kernyskyu, and P. Pukach. (2017). *Development of subsystems for reverberation time definition in lecture auditorium. Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM)*, 14th International Conference The. IEEE, 2017. (in English)
6. Bohdanova N. V., et al. (2016). *Matematychnе moduliuvannia ohynayuchoi reverberatsiynoho protsesu za dopomohou alhorytmu Schroeder'a. Adaptivni systemy avtomatychnoho upravlinnia* 1.28: 3-9. (in Ukrainian)
7. <https://www.iso.org/standard/36201.html> (in English)
8. Chris Chatfield. (1996). *The Analysis of Time Series, an Introduction*. Chapman & Hall, p.33. (in English)
9. <https://www.dirac.com/> (in English)

UDC 004.9:534.843

**STUDY OF METHODS OF T20 REVERBERATION
TIME DETERMINATION**

M.R. Melnyk, A.B. Kernytsky

National University «Lviv Polytechnic» 12, Bandera St., Lviv, Ukraine, 79013

MelnykMR@gmail.com

The accuracy of methods of detecting a bypass signal for determining the reverberation time has been studied on the basis of the analysis of the results of 9 field experiments on the registration of the response of the room to the pulsed noise. Based on the conducted research, the method of the least squares has been improved and a subsystem for the batch analysis of registered audio files has been developed.

Keywords: *reverberation time, T20, method of inverse integration, the least squares method.*

Стаття надійшла до редакції 14.02.2017
Received 14.02.2017