

# **Комп'ютерні методи вимірювання акустичних параметрів приміщень та псофометричних шумів**

Виконала - Байда Вікторія Валеріївна

Науковий керівник – доц., к.т.н. Крупельницький Л.В.

Робота виконана в НТЦ «Аналогово-цифрові системи ВНТУ»

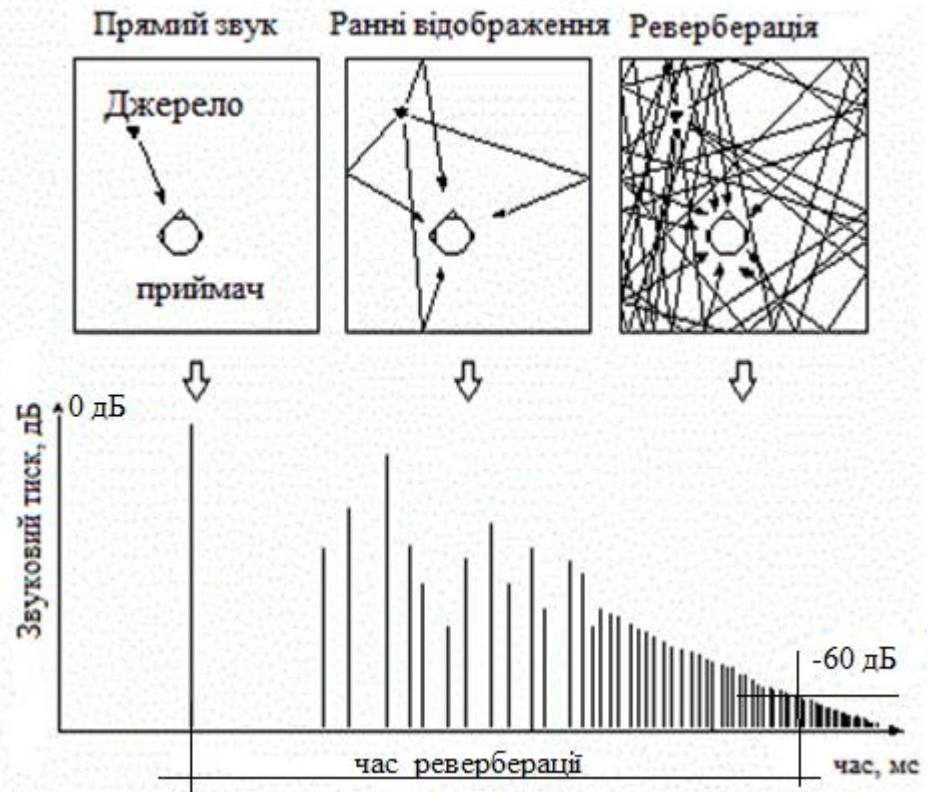
- **Мета:** підвищення точності і розширення діапазону вимірювання акустичних параметрів приміщень та психофотричних шумів приміщень шляхом створення комп'ютерного методу та алгоритму вимірювання.
- **Завдання:** дослідити існуючі методи вимірювання параметрів приміщень та шумів, запропонувати метод, що дозволяє комплексно відобразити параметри приміщень та шуми та імплементувати його в програмний код

- **Актуальність проблеми:** вимірювання акустичних параметрів приміщень та шумів важливе для вибору і контролю приміщень телевізійних студій, концертних залів тощо.
- **Об'єкт дослідження:** процес вимірювання акустичних параметрів приміщень та психофотричних шумів.
- **Предмет:** комп'ютерні методи вимірювання акустичних параметрів приміщення та психофотричних шумів.

# Реверберація звуку в приміщенні

Реверберація — залишкове «післязвуччя» у закритих приміщеннях. Утворюється внаслідок багатократного відбиття від поверхонь та одночасного поглинання звукових хвиль.

Час реверберації зазвичай визначають як час, протягом якого гучність сигналу зменшується на 60 дБ.

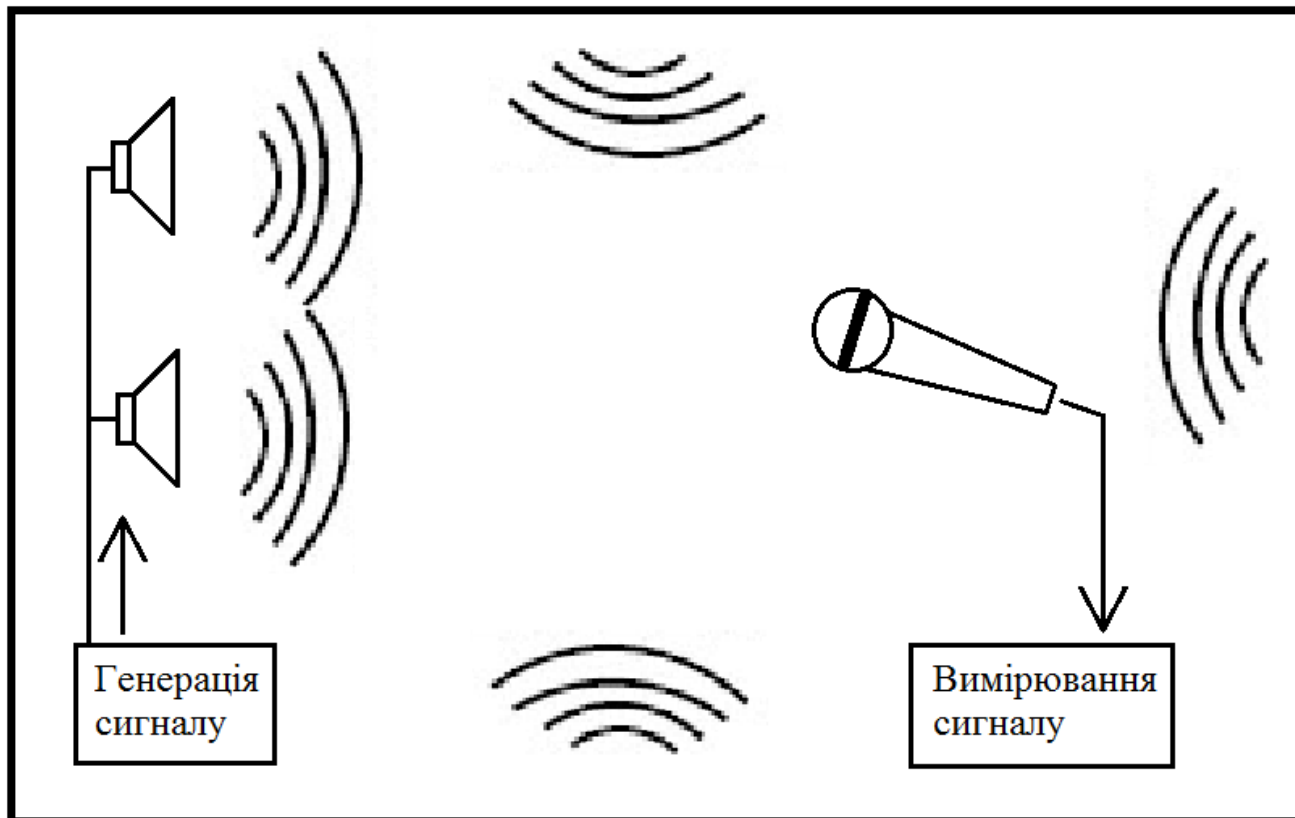




# Аналіз особливостей відомих методів вимірювання звукових параметрів приміщень:

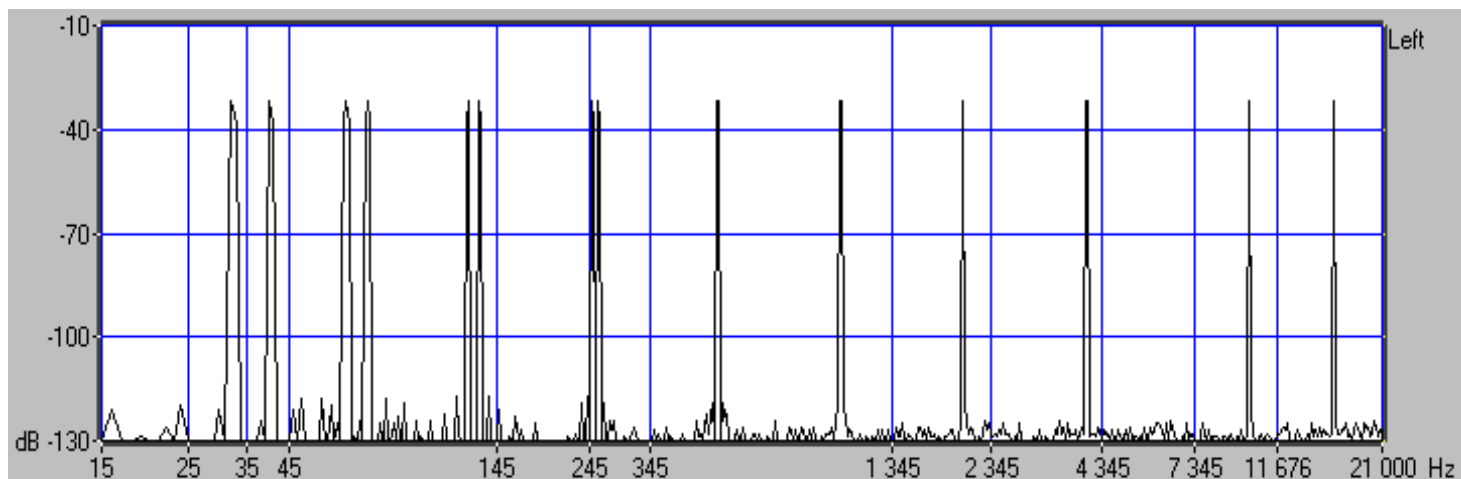
- **Ревербераційний метод** – вимірюється час затухання відбитого сигналу, при цьому вимірюється лише час затухання однієї частоти, що призводить до неточного аналізу приміщення.
- **Стаціонарний метод** - дозволяє зробити дослідження звукових процесів і знайти просторові акустичні характеристики приміщення, визначити частотну характеристику звукопередачі, форму приміщення, розташування відбиваючих і звукопоглинальних матеріалів, місцезнаходження джерела звуку і його характеристику спрямованості;
- **Імпульсний метод** - при цьому фіксують послідовність прийнятих прямого та відбитих від поверхонь сигналів, але гучномовці, як правило, нездатні передавати імпульсні сигнали великої потужності без сильних спотворень.

# Розміщення гучномовців і мікрофона при акустичних вимірюваннях



# Полігармонійний метод для вимірювання часу реверберації

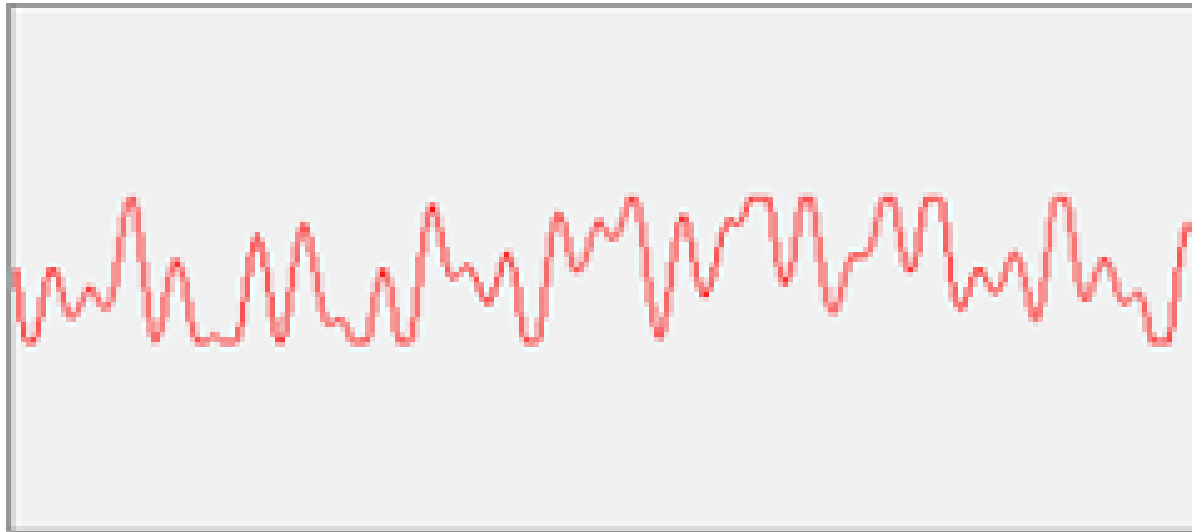
- Розроблений метод вимірювання акустичних параметрів приміщень полягає у вимірюванні часу реверберації суми частот, створених та сумованих у генераторі, вбудованому в програму, та поданих з гучномовця. Також можна показати час затухання кожної складової частоти із суми поданих.
- Всі амплітуди і початкові фази гармонічних складових однакові:  
$$S(t) = \sum_{i=1}^N A_i \sin(2\pi f_i t)$$



Приклад спектру тестового сигналу

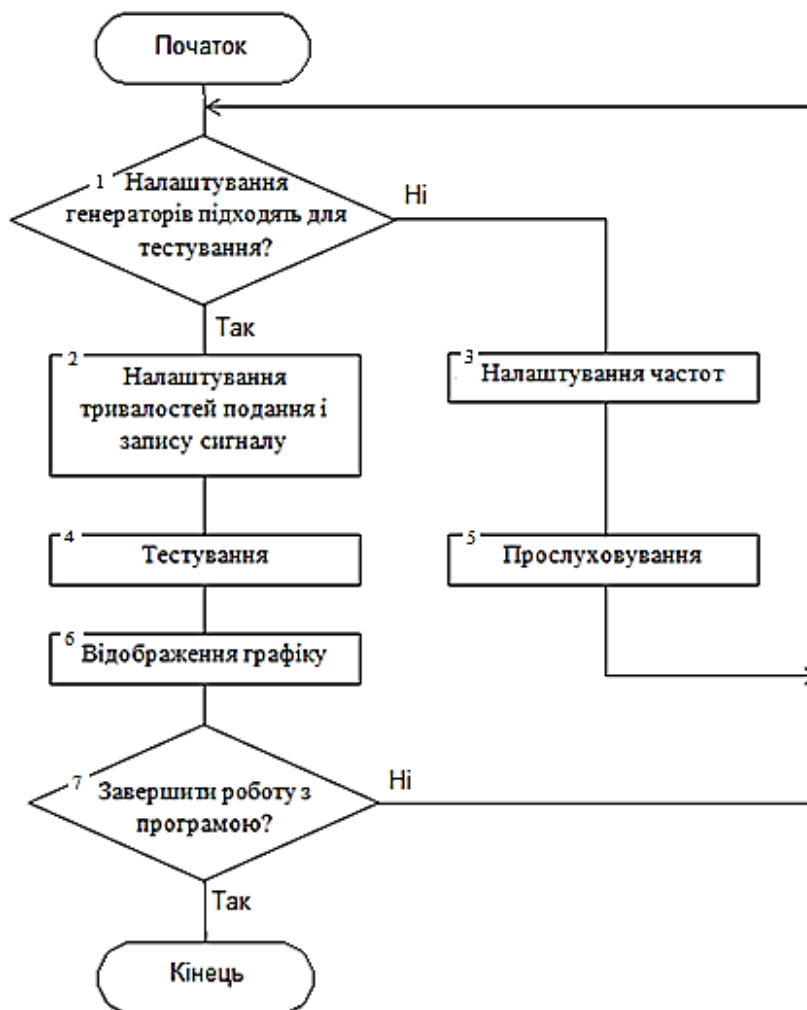
# Переваги розробленого методу

- можливість аналізу акустичних характеристик за реверберацією на різних частотах під час одного заміру;
- можливість задання складових частот в залежності від типу приміщення;
- не потребує великих витрат на спеціалізовану апаратуру;
- сигнал має врівноважений розподіл амплітуд по частотному спектру.





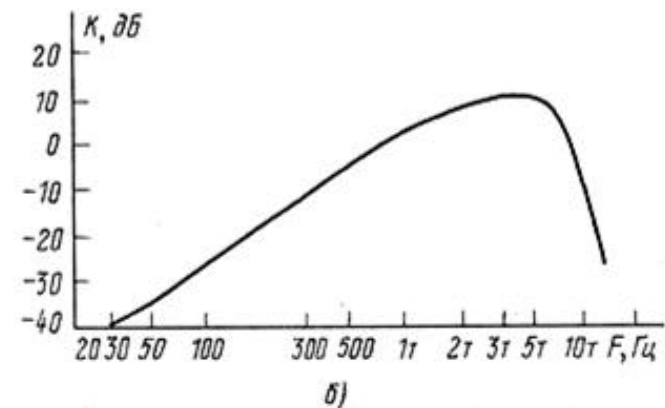
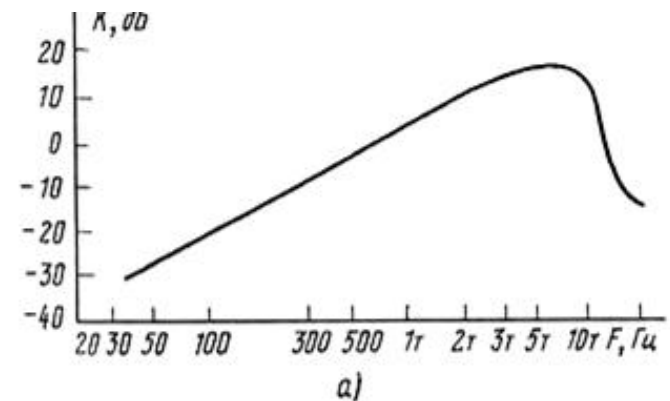
# Алгоритм вимірювань реверберації в приміщеннях на основі полігармонійного сигналу



# Псофометричні фільтри при оцінюванні рівня шумів

Слух людини має різну чутливість до шумів різних частот. Тому при вимірюванні акустичних параметрів доцільно використовувати так звані псофометричні фільтри, які будуть відповідним чином формувати амплітудно-частотну характеристику на вході вимірювача.

Псофометричні фільтри стандартизовані як у телерадіомовленні (а), так і в галузі зв'язку (б).



# Моделювання цифрових психометричних фільтрів

Формула для рекурсивного фільтра Чебишева другого порядку

$$S'(i) = a_0 * S(i) + a_1 * S(i-1) + a_2 * S(i-2) - b_1 * S'(i-1) - b_2 * S'(i-2)$$

Формула для рекурсивного фільтра Баттерворта першого порядку:

$$S'(i) = a_0 * S(i) + a_1 * S(i-1) - b_1 * S'(i-1)$$

Фільтр 1 складається з ФНЧ Чебишева 2-го порядку

$$a_0 = 0.13726; a_1 = 0.27452; a_2 = 0.13726; b_1 = -0.866; b_2 = 0.415045$$

і ФВЧ Баттерворта 1-го порядку

$$a_0 = 0.687044; a_1 = -0.68704; b_1 = -0.37408.$$

Фільтр 2 складається з ФНЧ Чебишева 2-го порядку

$$a_0 = 0.070684; a_1 = 0.141368; a_2 = 0.070684; b_1 = -1.2531; b_2 = 0.535844$$

і такого ж ФВЧ Баттерворта 1-го порядку

$$a_0 = 0.687044; a_1 = -0.68704; b_1 = -0.37408.$$

# Програмна реалізація комп'ютерного методу для вимірювання акустичних параметрів приміщень

- ПЗ реалізовано мовою C# у вільному середовищі SharpDevelop.
- Використані бібліотеки NAudio та Math.NET для обробки.

The screenshot shows the EchoTest application window. It features a 'Generators' section with a list of frequencies (150, 1000, 2500, 3700 Hz) and volume (50%), a 'Time\Frequency Graph' showing a red waveform, and a 'Time\Frequency Graph' showing a red waveform. The interface includes a 'Test' button, a 'Pulse length' slider (99ms), and a 'Record time' slider (2s). The status bar at the bottom indicates '00:000/02:000 Step: 23,22ms'.

область задання генераторів

форма вихідного сигналу

сигнал з суми частотних складових генераторів

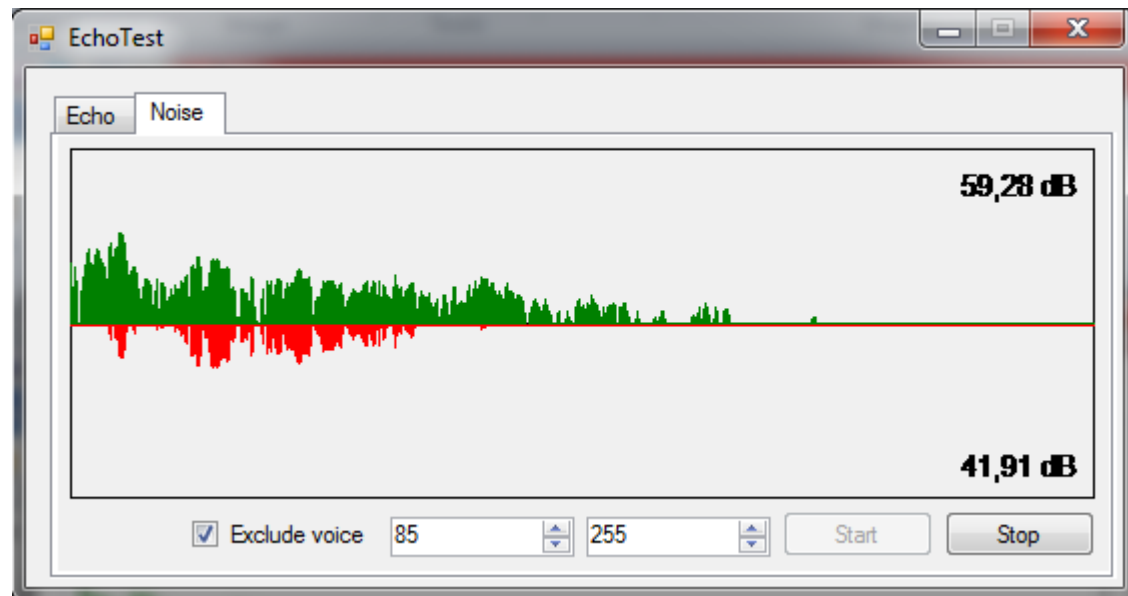
результати вимірювань

# Програмна реалізація комп'ютерного методу для вимірювання психофотричних шумів

Реалізуються 2 психофотричні фільтри, кожен з яких складається з двох фільтрів – фільтру Баттерворта і фільтру Чебишева.

Одночасно відбувається переведення амплітуди семплів у децибели.

Також передбачено конвертацію сигналу із wav-формату, тобто із бітів у семпли і навпаки, розділення і змішування каналів.





# Функціональні можливості ПЗ

- задання тривалостей подання та запису сигналу;
- задання суми частот вручну або програмно;
- отримання спектру вхідних і вихідних сигналів;
- відображення графіків затухань.

# У результаті роботи розробки включені до складу Аналізатора параметрів звукових трактів АПЗТ-А3



# Переваги комп'ютерних методів аналізу акустичних параметрів приміщень та вимірювання рівня шумів

- невеликі затрати на створення окремих компонентів і системи в цілому;
- можливість простої модифікації алгоритмів вимірювань;
- можливість калібрування.

## Положення, що їх винесено на захист:

- метод вимірювання акустичних параметрів приміщень за допомогою полігармонійних сигналів дає можливість одночасного вимірювання часу реверберації на різних частотах;
- вимірювання психофотометричних шумів за допомогою спектрального аналізу із використанням цифрової фільтрації дає можливість зімітувати частотну характеристику слуху людини;
- оптимізований інтерфейс програми та спосіб графічного представлення результатів вимірювань спрощує роботу над вимірюваннями.

- **Результати** дослідження були апробовані у доповідях:
- Байда В. В., наукові керівники Крупельницький Л. В., Азаров О.Д. «Комп'ютерні методи вимірювання психофотометричних шумів і акустичних параметрів приміщень» та XLIV регіональній науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів Вінницького національного технічного університету.
- Байда В. В., Бражний В. В., В. В. Куцак В. В., науковий керівник Крупельницький Л. В. «Дослідження апаратних та програмних методів вимірювання акустичних шумів та звукових характеристик приміщень» на XLIII регіональній науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів Вінницького національного технічного університету.

<http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2015/initki/txt/bayda-axarov.pdf>



**Дякую за увагу!**