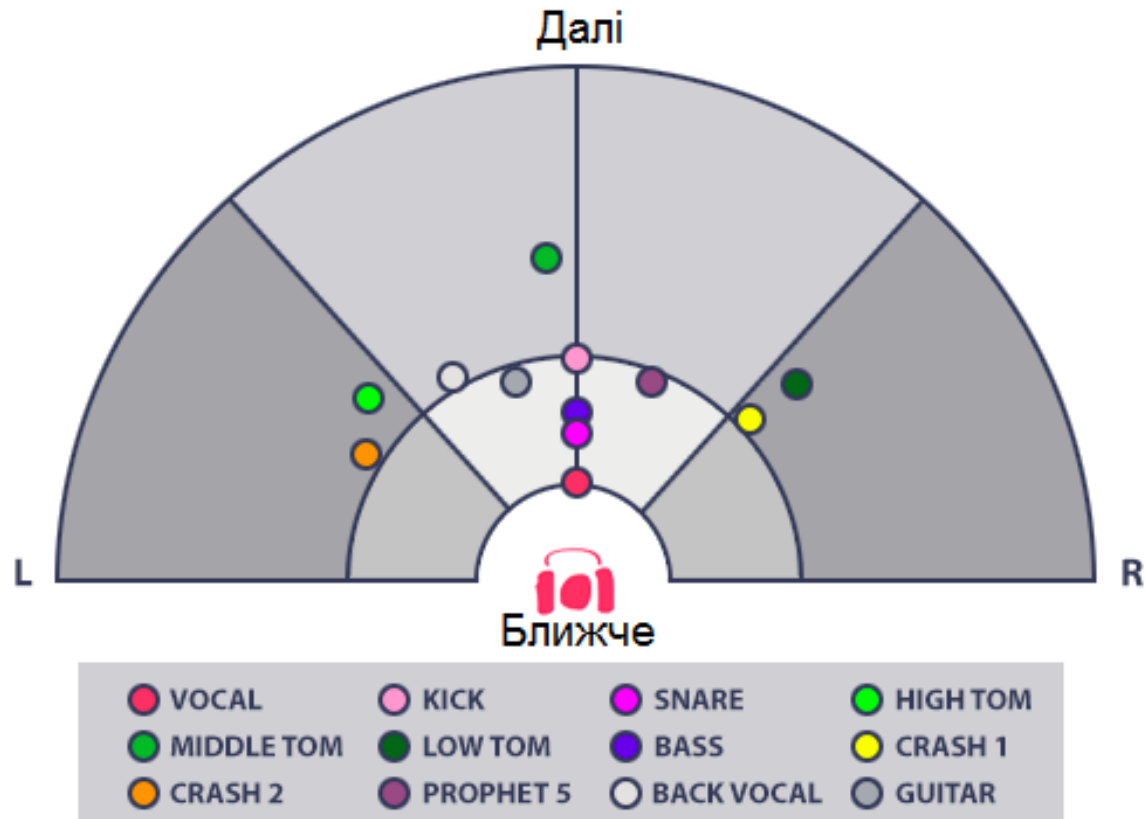


ДОДАТОК А  
ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

## Просторова обробка звуку



За допомогою штучної реверберації можна відсунути звук «назад» (глибше в сцену), для створення декількох звукових планів, або ж надати об'єму звучанню.

Рисунок А.1 – Просторова обробка звуку

## Постановка задачі

Сьогодні до програмних та апаратних засобів штучної реверберації висуваються високі вимоги з точки зору природності звучання. У слухача повинно складатися повне враження знаходження в одному приміщенні з джерелом звуку

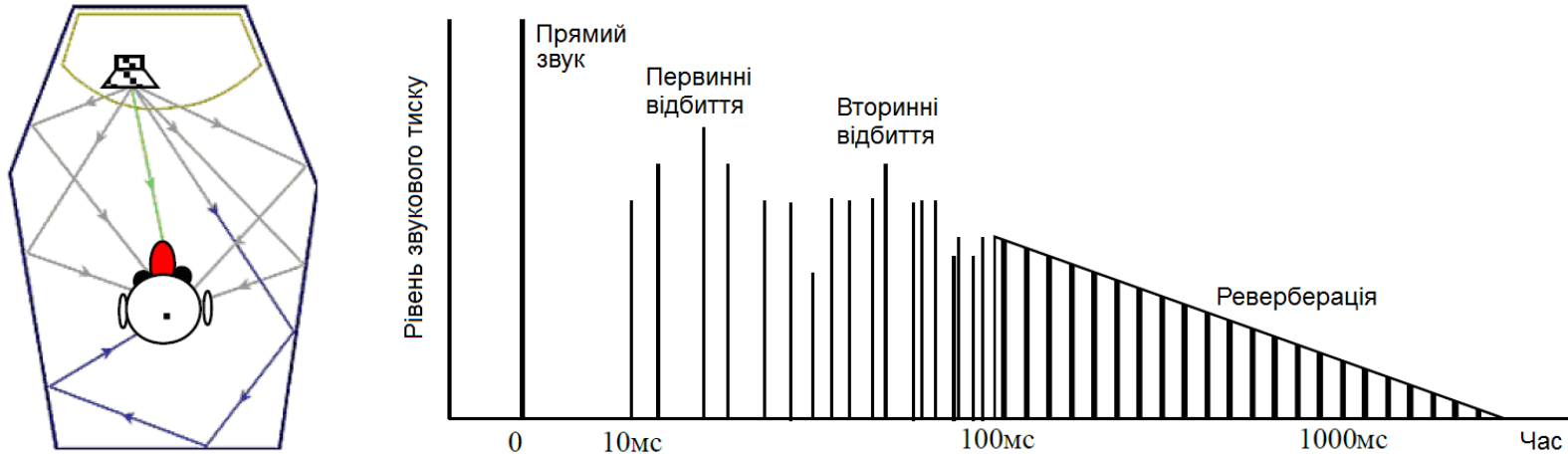
*Об'єкт дослідження* – процес обробки звукових сигналів для задачі створення ефекту штучної реверберації.

*Мета роботи* є дослідження алгоритмів та складових частин ревербераційної обробки звуку, оцінка впливу цієї обробки на формування ревербераційного відгуку та реалістичність звучання.

*Методи дослідження* – модельний експеримент, натурний експеримент, статистична обробка експериментальних даних.

Рисунок А.2 – Постановка задачі

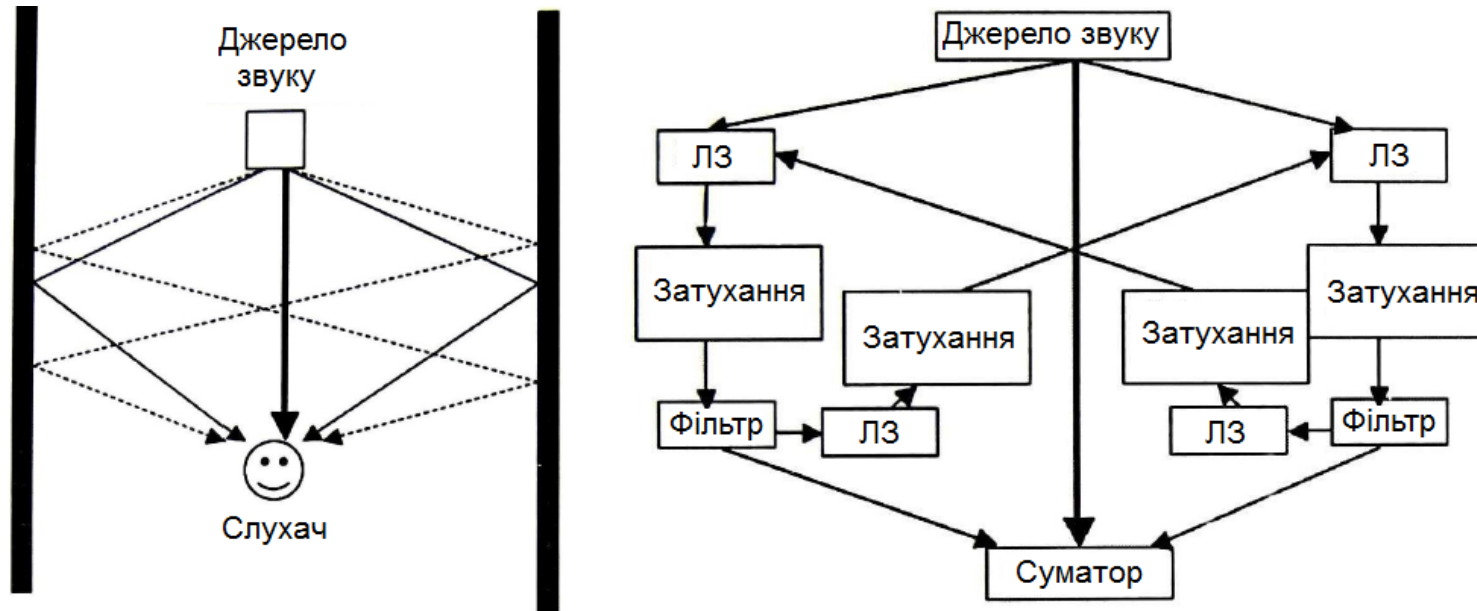
## Характеристики ревербераційного відгуку



1. Велике значення для реалістичності звучання має не тільки сам час ревербераційного відгуку, але перш за все його тонка часова структура.
2. Ревербераційний процес складається з прямого звуку, ранніх відбиттів, які несуть інформацію про найближчі до джерела предмети.
3. Потім, коли відбиття в приміщенні ростуть в геометричній прогресії, вони зливаються в єдиний ревербераційний хвіст.
4. Деталі відтворення ревербераційного відгуку і є запорукою реалістичності звучання.

Рисунок А.3 – Характеристики ревербераційного відгуку

## Формування ранніх відбиттів

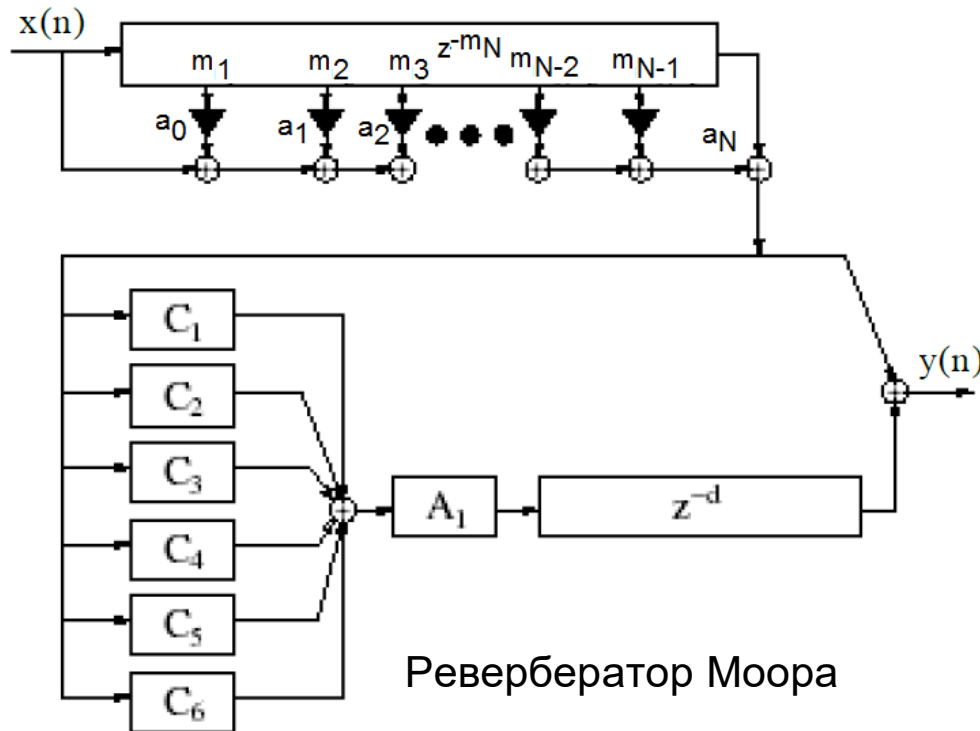


Реверберація моделюється

- лініями затримки (ЛЗ), величина якої залежить від розмірів кімнати,
- коефіцієнтом відбиття стін (затухання)
- фільтром, що враховує залежність коефіцієнта поглинання покриття стін від частоти
- вторинні відбиття враховуються шляхом запровадження ліній зворотного зв'язку.

Рисунок А.4 – Формування ранніх відбиттів

## Формування пізніх відбиттів



Усі вихідні сигнали зважуються відповідно до коефіцієнтів затухання  $g_i$  і підсумовуються. Значення коефіцієнтів розраховуються за формулою

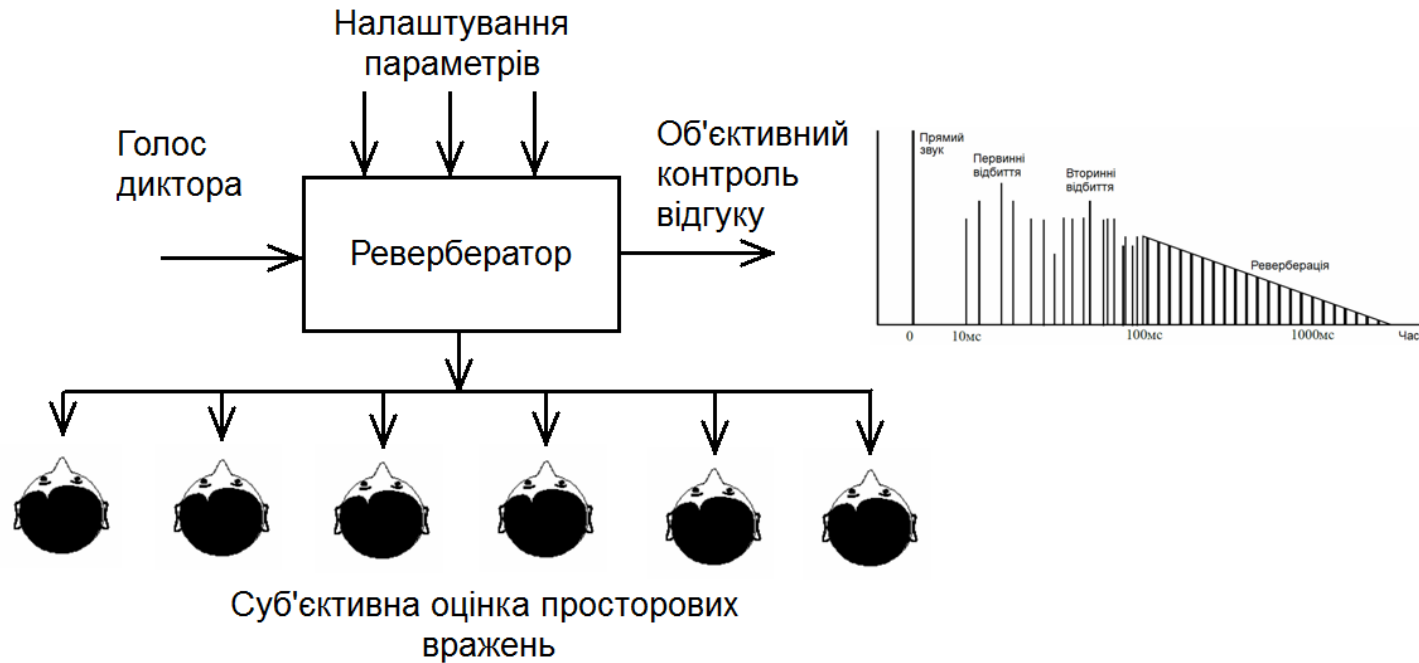
$$g_i = 10^{-3} \frac{m_i}{T_d f_s},$$

де  $m_i$  – час затримки, що задається числом вибірок,  
 $f_s$  – частота дискретизації,  $T_d$  – час реверберації.

1. Для імітації пізніх відбиттів використовуються 6 паралельно з'єднаних гребінчастих фільтрів зі зворотним зв'язком.
2. У колі зворотного зв'язку включений ФНЧ, який імітує ефект затухання інтенсивності на верхніх частотах.
3. Сумарний сигнал із цих фільтрів подається на вихід через часову затримку. Вона імітує запізнення пізніх відбиттів відносно ранніх відбиттів на 5...10 мс.
4. Коефіцієнт  $A_1=0,7$  створює необхідний рівень пізніх відбиттів.

Рисунок А.5 – Формування пізніх відбиттів

## Оцінка впливу на звучання



В дослідженні брали участь 6 студентів, яким програвався в навушники голос диктора, записаний у телевізійній студії ХНУРЕ, оброблений при різних налаштуваннях ревербератора.

Студенти оцінювали реалістичність оброблених звуків по 5-бальній шкалі. Таке дослідження не може претендувати на виняткову репрезентативність. Однак, в результаті отримані наступні висновки.

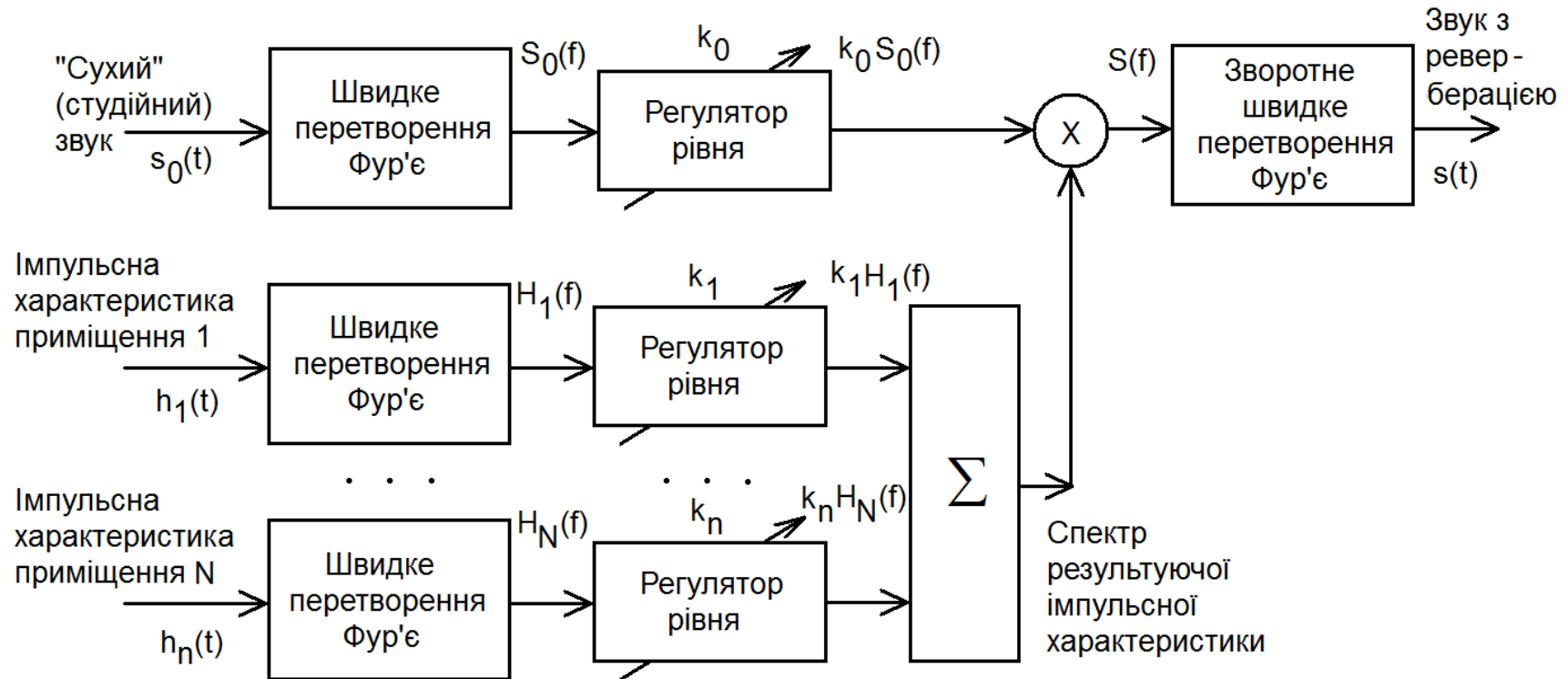
Рисунок А.6 – Оцінка впливу на звучання

## Вплив параметрів реверберації на звучання

1. Ранні відбиття мають вирішальне значення для відчуття сприйняття простору, зокрема, ефект об'єму кімнати.
2. Для того, щоби ефект реверберації гарно звучав, перші ранні відбиття повинні приходити через 15...20 мс після прямого звуку, а сумарна потужність ранніх відбиттів (в діапазоні 15...50 мс) повинна становити приблизно -6 дБ від потужності прямого сигналу.
3. На сприйняття реверберації найбільше впливає згасання реверберації від максимального значення рівня – 15 дБ.
4. Велика кількість налаштувань значно ускладнює роботу з програмним ревербератором. Для музики реалістичність звучання не має такого значення, як для кіно, тому що в музичному треку реверберований сигнал звучить в міксі.

Рисунок А.7 – Вплив параметрів реверберації на звучання

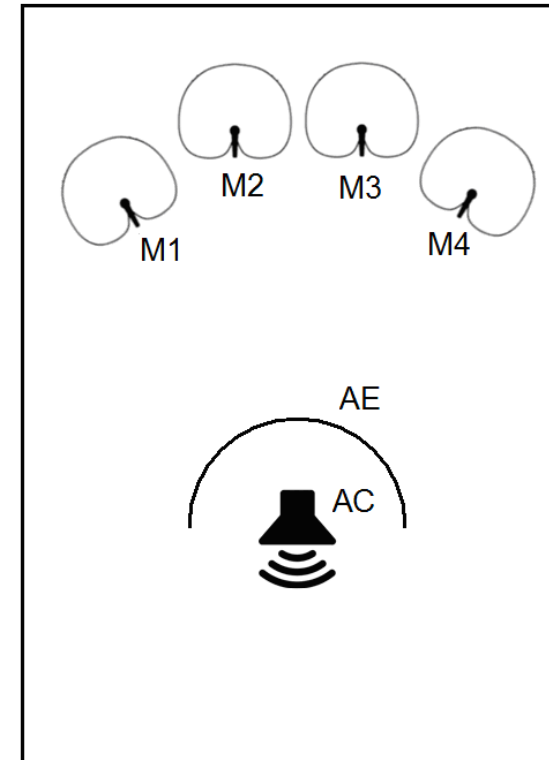
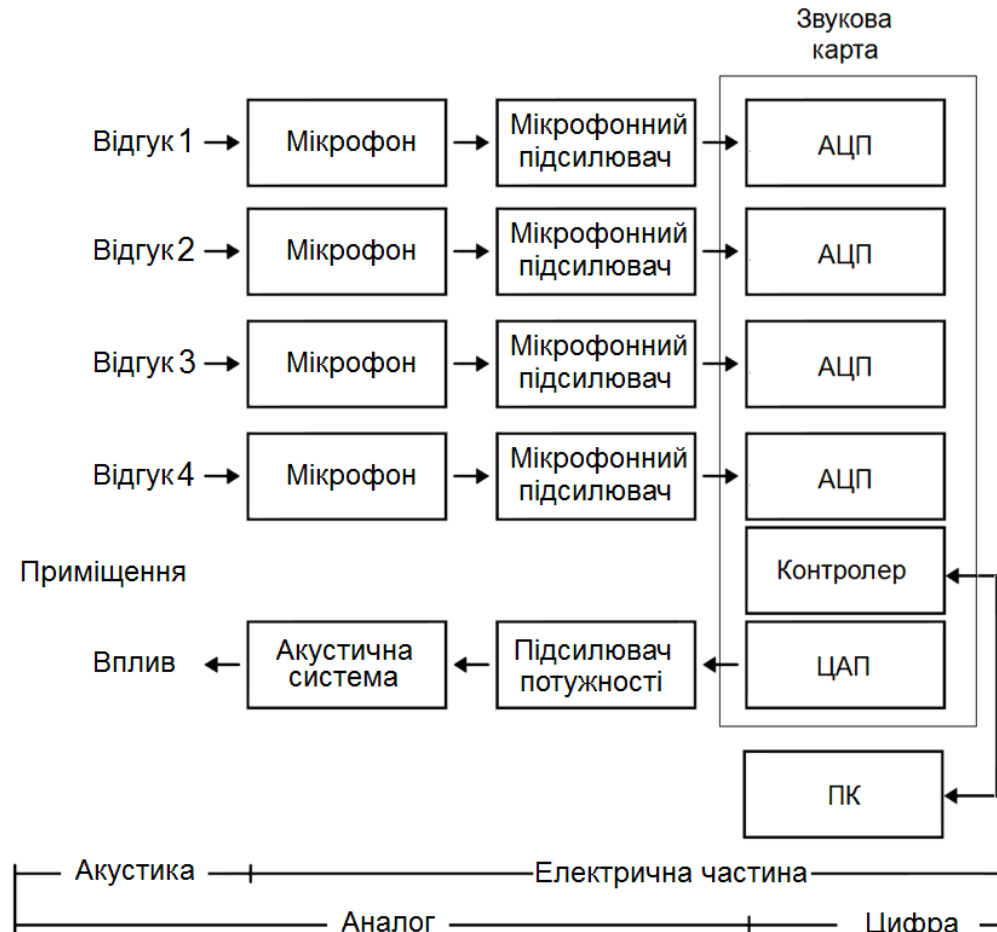
## Алгоритм конволюційної реверберації



Оцінки показали, що пряме обчислення згортки має велику обчислювальну складність. Тому доцільно використовувати для таких цілей швидке перетворення Фур'є (ШПФ). Згортка в часовій області еквівалентна перемноженню спектрів.

Рисунок А.8 – Алгоритм конволюційної реверберації

## Запис імпульсної характеристики

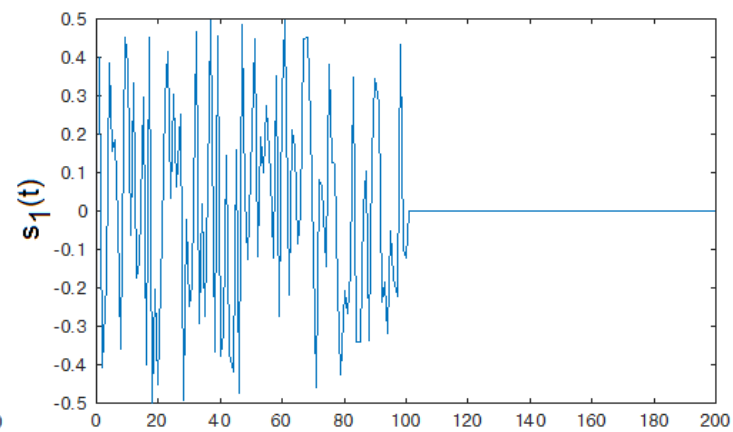
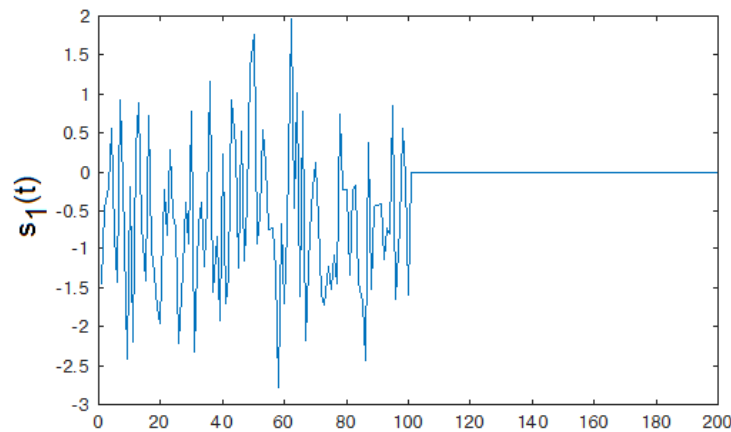


Варіант взаємного розташування мікрофонів (M), акустичної системи (AC) та акустичного екрана (AE)

Рисунок А.9 – Запис імпульсної характеристики

# Дослідження імпульсного збуджуючого впливу

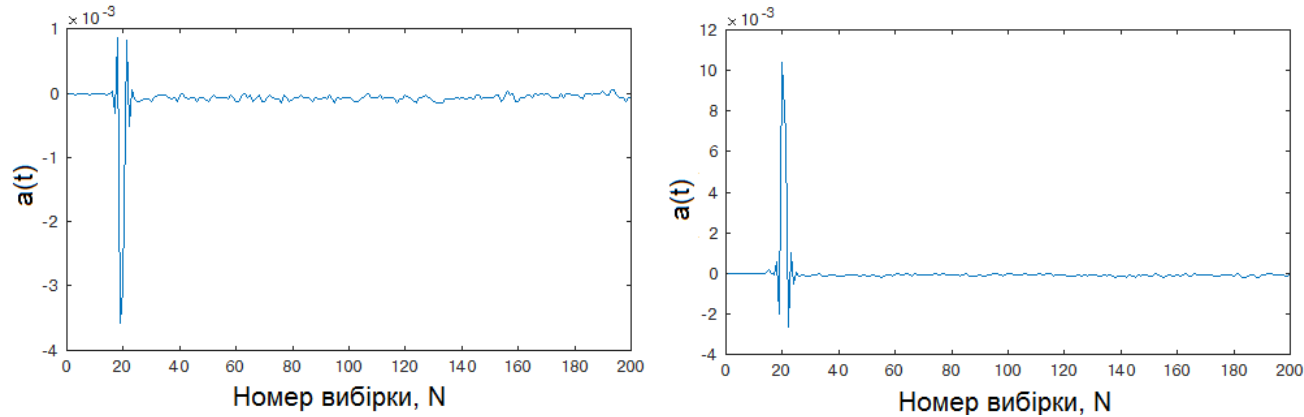
Приміщення студії Телецентру ХНУРЕ



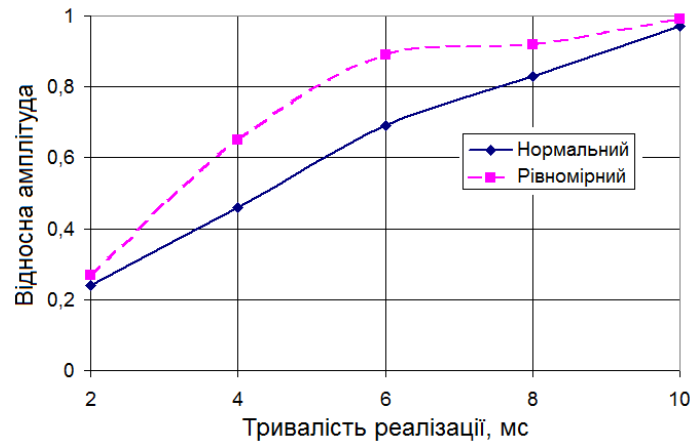
Номер вибірки,  $N$   
Приклад випробувального сигналу з нормальним розподілом (зліва)  
і рівномірним розподілом (справа)

Рисунок А.10 – Дослідження імпульсного збуджуючого впливу

## Акустичні сигнали збудження



Приклади акустичного сигналу звукового монітору, записаного на мікрофон (зліва – нормальний розподіл, справа – рівномірний розподіл)



Графіки залежності максимальної амплітуди акустичного сигналу збудження від тривалості випробувального сигналу

Рисунок А.11 – Акустичні сигнали збудження

## Експеримент з запису імпульсних характеристик

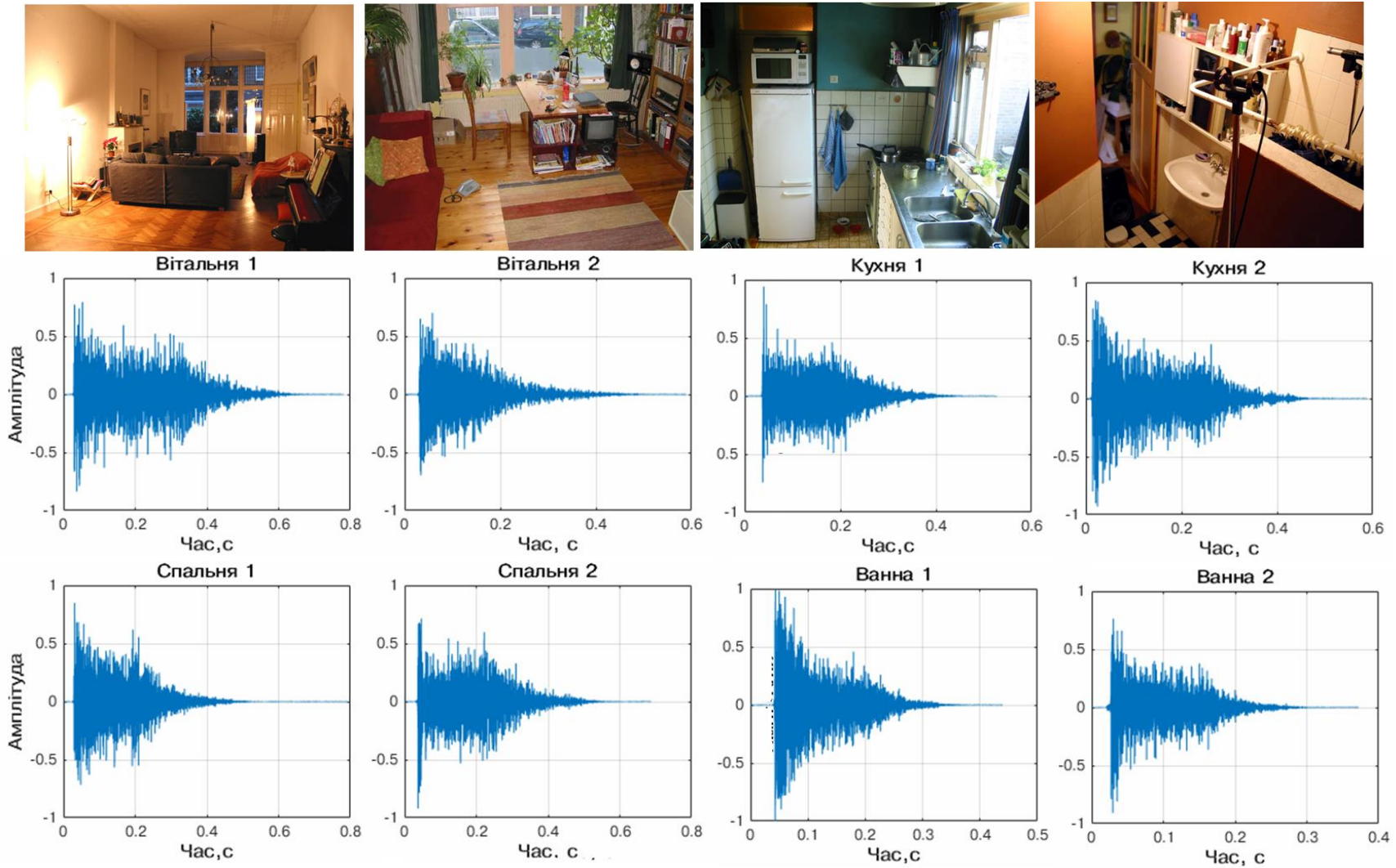
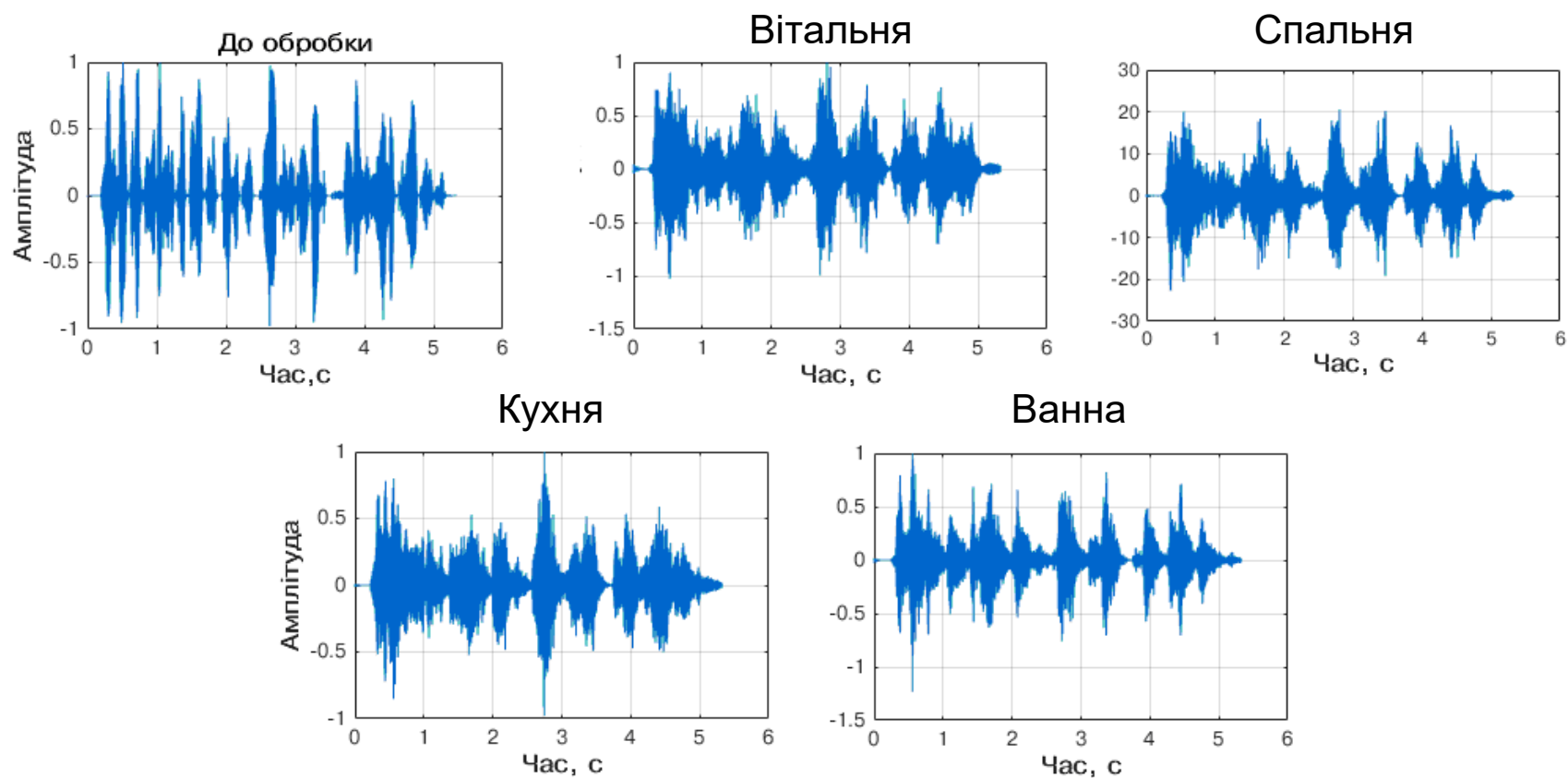


Рисунок А.12 – Експеримент з запису імпульсних характеристик

## Конволюційна обробка голосу



Приклади сигналів до та після ревербераційної конволюційної обробки для різних приміщень

Рисунок А.13 – Конволюційна обробка голосу

## Висновки

1. Відмінність часу реверберації помітна по різному заповненню пауз між словами. Найбільша заповненість відбитими сигналами для приміщення вітальні, найменша – для ванної кімнати.
2. Конволюційна обробка сигналів з різними імпульсними характеристиками суттєво змінює обвідну сигналу, зокрема розподіл гучності по словам та складам.
3. Отримані в результаті звукові сигнали відповідають дальньому звуковому плану та мають характерні частотні фарби, по яким можна легко впізнати приміщення. Так звук для ванної кімнати і кухні вийшов дзвінким, для спальні і вітальні більш приглушеним на верхніх частотах, що відповідає наявності м'яких поглинаючих покриттів.
4. Отримати більш близький звуковий план можна, змішуючи оброблений звук з оригінальним "сухим" в потрібній пропорції. Для переміщення уявного джерела звуку по кімнаті можна міксувати між собою імпульсні характеристики одного приміщення, записані різними мікрофонами.

Рисунок А.14 – Висновки

