

ОГЛЯД МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ЧАСУ РЕВЕРБЕРАЦІЇ

Постановка проблеми. У наш час актуальними залишаються проблеми якості акустичної обробки звуку. Сучасна музична індустрія постійно потребує удосконалення пристроїв для створення ефектів реверберації, а записуючі студії — покращення якості накладених на запис ефектів.

Аналіз попередніх досліджень. У ХХ столітті було розроблено багато методів отримання реверберації, основними з них є: ревербераційна камера, пластинчатий ревербератор, пружинний ревербератор, цифровий ревербератор, реверберація згортки. Кожен із цих методів дозволив зробити крок уперед у цій галузі науки, але водночас кожен з них має свої переваги та недоліки.

Значний внесок у розвиток акустики, а саме у створення методів розрахунку часу реверберації, зробили вчені В. Абракітов, Л. Беранк, Л. Бреховских, Г. Гаас, К. Ейрінг, Л. Кремер, Г. Мюллер, Мілінгтон, У. Себін та інші. Зусилля сучасних дослідників спрямовані на уточнення розрахункових формул часу реверберації, з метою потребує удосконалення пристроїв для створення ефектів реверберації

Мета статті — висвітлення переваг та недоліків існуючих методів отримання реверберації та огляд методик розрахунку часу реверберації.

Виклад основного матеріалу. Реверберація — це залишкове післязвуччя у закритому приміщенні, що утворюється внаслідок багатократного відбиття від поверхонь та одночасного поглинання звукових хвиль. Реверберація характеризується проміжком часу, протягом якого сила звуку зменшується на 60 дБ [2].

Методи отримання реверберації. Найпершим ревербераційним пристроєм вважається ревербераційна камера (chamberreverberator), яка початково використовувалась для отримання ефекту реверберації. Ця камера являє собою приміщення зі стінами, що добре відбивають звукові хвилі. Спроектване приміщення камери могло бути нестандартної форми. Звук подавався у камеру через гучномовець, де багаторазово відбивався від стін камери, і записувався за допомогою мікрофону.

У 1950-х роках був винайдений пластинчатий ревербератор (platerreverberator). Основою його конструкції є електромеханічний перетворювач, прикріплений до металевій пластини, що розміщується у металевій рамі. Перетворювач перетворює звукові коливання в коливання пластини які реєструються звукознімачем або звукознімачами (дозволяє отримати стерео сигнал) і перетворюють їх на звуковий сигнал. Пластинчастий ревербератор характеризується чітким, злегка металевим звучанням. Широко використовується в поп-музиці. Зазвичай застосовують для обробки вокальних та ударних доріжок.

Пружинний ревербератор (springreverberator) — пристрій, в основі конструкції якого — пружина, що починає коливатися завдяки електромагнітному перетворювачу. На протилежному кінці пружини розміщено звукознімач, що перетворює коливання пружини в звуковий сигнал. Раніше пружинні ревербератори використовувались у напів-професійному звукозаписі через їх малі габарити та низьку вартість. Навіть тепер пружинні ревербератори можна зустріти в гітарних підсилювачах. Недоліком пружинного ревербератора є «мікрофонний ефект», тобто він дуже чутливий до зовнішніх впливів. Деякі музиканти використовують пружинні ревербератори для створення спецефектів за допомогою їх струшування чи ударів по ним.

Цифровий ревербератор (digitalreverberator) — пристрій, в основі якого лежить цифрова обробка звуку. Прості алгоритми реверберації використовують звороний зв'язок

для розгалужених ліній затримки, завдяки чому генерується велика кількість затухаючих повторень вихідного звуку. Більш складні алгоритми емолюють часову і частотну характеристики реальних приміщень.

Згортувана реверберація (convolutionreverb) — реверберація отримана шляхом цифрової згортки вхідного звуку та імпульсної характеристики приміщення. Для того щоб визначити імпульсну характеристику, слід згенерувати в конкретному приміщенні широкосмуговий сигнал і записати його в режимі моно або стерео з реверберацією цього приміщення [6].

Елементи реверберації

На рисунку 1 схематично зображено рівень звукового тиску в приміщенні після збудження звуковим імпульсом. Імпульсна характеристика складається з чотирьох частин:

Прямий звук — це перший звук, який потрапляє від джерела до слухача і має найбільшу інтенсивність. Згідно з дослідженнями Г. Гааса суб'єктивна оцінка знаходження джерела звуку визначається саме прямим звуком і відбиттям, що проходять протягом 1 мс[3].

Час затримки першого відбиття — це часовий інтервал між сприйнятим слухачем прямим звуком і його першим відбиттям. Значення цього параметру визначає суб'єктивне враження про величину приміщення. Л. Беранку своїх дослідів підтвердив, що в найкращих концертних залах час затримки першого відбиття для слухача, що сидить у центрі залу становить від 15 до 30 мс [4]. Звідси випливає, шлях який долає відбитий звук має бути на 5 — 10 метрів довшим ніж шлях прямого звуку. Якщо значення цього параметра є завеликим (від 50 до 70 мс), у слухача виникне відчуття перебування у великому просторі. Відбиття із запізненням понад 100мс сприймається як луна.

Ранні відбиття — це група відбиттів, яка доходить до слухача через 80 мс після прямого звуку. Г. Гасс дослідив, що відбиття з часом затримки 2-50 мс сприяють враженню збільшення гучності прямого сигналу [3]. Звуки, що затримуються на 40 мс складають враження акустичної близькості. Для досягнення повноти звучання, ранні відбиття повинні приходити з найбільшої кількості напрямків. На рисунку 2 зображена структура ранніх відбиттів ревербераційного відгуку.

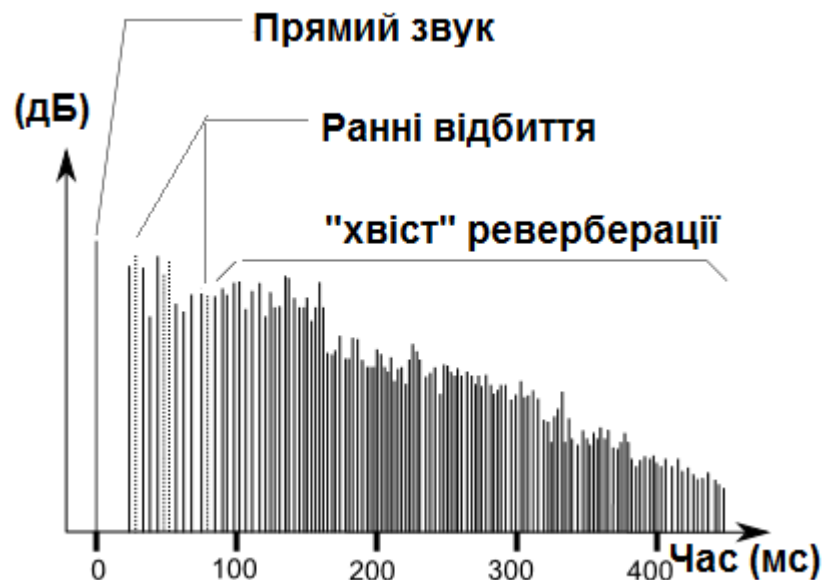


Рис. 1. Основні елементи реверберації

«Хвіст» реверберації — складається з великої кількості багаторазових відбиттів звуку. Л. Кремер і Г. Мюллер у своїх працях зазначають, що протягом секунди до слухача доходить до 2000 відбиттів[5]. Інтервали між послідовними відбиттями сигналу настільки короткі, що «хвіст» реверберації має характер поступово згасаючого продовження прямого

сигналу. Залежно від коефіцієнтів поглинання приміщення «хвіст» реверберації може зникати раптово або поступово, що виражається у часі реверберації приміщення [1].

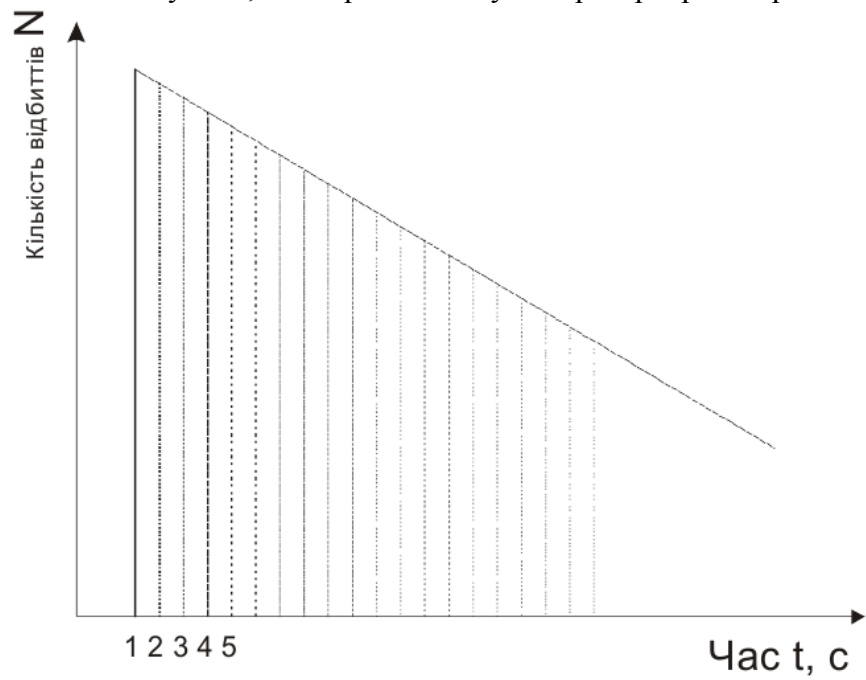


Рис. 2. Структура ранніх відбиттів ревербераційного відгуку

Методики для розрахунку часу реверберації

Існують три теорії акустики. Учений У. Себін запропонував підходи, що нині названі статистичною теорією акустики. Метод, запропонований У. Себіном, був заснований на моделі ідеального приміщення, у якому звукове поле після дії звукового сигналу, може бути розраховане на основі розгляду процесу згасання звуку. Розгляд звукового поля дає можливість зневажити явищами інтерференції й застосувати при розрахунках енергетичне підсумовування. Подібний підхід використовувався в кінетичній теорії газів і заснований на математичній теорії ймовірностей. Л. Бреховських показав, що для приміщень, лінійні розміри яких великі в порівнянні з довжиною хвилі, виходять задовільні результати [1].

Середню довжину пробігу звукового променя між двома відбиттями визначають за формулою:

$$R = \frac{4V}{S}, \text{ м}$$

де V — об'єм приміщення, м^3 ; S — загальна площа всіх обмежувальних поверхонь (підлоги, стелі, стін), м^2 .

Для експериментального визначення часу реверберації У. Себін користувався найпростішими пристосуваннями: органами трубами як джерелом звуку й секундоміром. Він довів, що час T прямо пропорційний обсягу приміщення V і зворотно пропорційний добутку середнього коефіцієнта поглинання a і площі всіх перешкод S [1].

$$T = \frac{kV}{a \cdot S}$$

Коефіцієнт k до формули У. Себіна береться з рисунку 3.

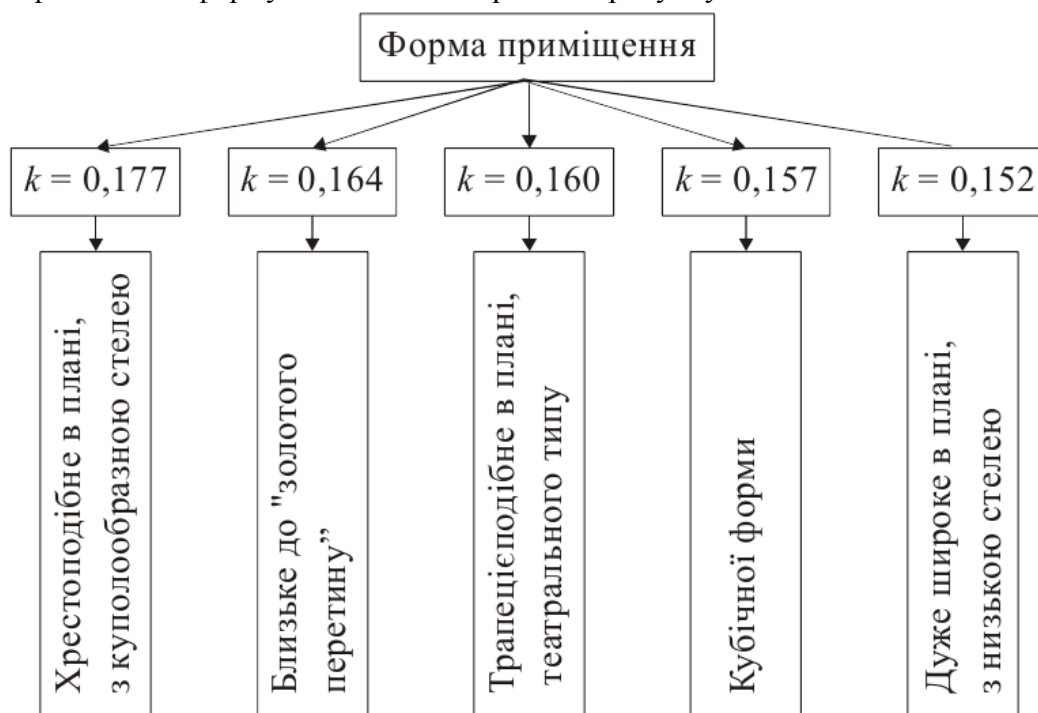


Рис. 3. Коефіцієнти k для різних форм приміщення

Середній коефіцієнт поглинання a розраховується як:

$$a = \frac{a_1 \cdot S_1 + a_2 \cdot S_2 + \dots + a_n \cdot S_n}{S}$$

де: $a_1, a_2 \dots a_n$ — коефіцієнти поглинання різних матеріалів;

$S = S_1 + S_2 + S_n$ — загальна площа перешкод;

n — кількість різних перешкод.

Більш точні дослідження реверберації були проведені в 1929 р. Шустером і Ветцманом, а в 1930 р. Карлом Ейрінгом. Формула Ейрінга має вигляд:

$$T = \frac{1}{6} \cdot \frac{V}{-S \cdot \ln(1 - a)}$$

При нерівномірному поглинанні звукових хвиль результат обчислений за формулою К. Ейрінга може виявитись хибним. Міллінгтону вдалося вивести більш точну формулу для розрахунку часу реверберації:

$$T = \frac{1}{6} \cdot \frac{V}{-\sum S \cdot \ln(1 - a)}$$

де: S — площа поглинання з коефіцієнтами поглинання a .

Недолік формули Міллінгтона в тому, що обчислене значення реверберації виходить рівним нулю, якщо хоча б один елемент перешкоди має $a = 1$. Хибного результату можна уникнути, прийнявши, що жоден коефіцієнт поглинання не дорівнює одиниці.

У роботі В. Абракітова в 1994 р. була запропонована нова методика розрахунку часу реверберації звуку в приміщеннях, що забезпечує більшу точність розрахунків [1]. Формула для визначення загального часу реверберації:

$$T = t_0 + \sum_1^n t_n$$

де: t_0 — час розповсюдження звукової хвилі від джерела до перешкоди;

t_n — час розповсюдження звукової хвилі між двома послідовними відбиттями;

n — кількість відбиттів, необхідна для послаблення сигналу на 60 дБ.

Висновок Таким чином вивчення і аналіз методик розрахунку часу реверберації дозволив констатувати, що статистична теорія акустики У. Себіна дає завищене значення T , а методика В. Абракітова більшу точність розрахунків.

Література:

1. Абракітов В.Е. Багаторазові відбиття звуку в акустичних розрахунках: Монографія. / В.Е. Абракітов. — Харків : Основа, 2007. — 244 — 280с.
2. <http://uk.wikipedia.org/wiki/ПЕРЕГЛЯНУТО: 28.02.14>
3. Naas H. The Influence of a Single Echo on the Audibility of Speech. «Journal of the Audio Engineering Society». 20 (2), ss. 146 - 159, 1972 .
4. Leo Beranek: Concert and Opera Halls — How They Sound. USA: Acoustical Society of America, 1996.
5. Cremer L., Müller H.A. : Principles and Applications of Room Acoustics. Londyn: Applied Science, 1982.
6. Tomasz Hajduk. IK Multimedia Classik Studio Reverb — zestaw wytyczek pogłosowych. «Estrada i Studio», czerwiec 2006. [dostęp 21 czerwca 2010].

У статті порушується актуальна проблема точності розрахунків часу реверберації. Розглядаються основні методи розрахунків часу реверберації, методи отримання реверберації та її елементи.

Ключові слова: реверберація, час реверберації, ревербератор, звук, відбиття.

В статье поднимается актуальная проблема точности расчетов времени реверберации. Рассматриваются основные методы расчета времени реверберации, методы получения реверберации и ее элементы.

Ключевые слова: реверберация, время реверберации, ревербератор, звук, отражение.

The article is broken burning issue of timing accuracy reverb. The main methods of calculation time reverb, reverb and methods for its elements.

Key words: reverb, reverbtime, soundreflection.