

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Э. А. ДАСТАКЯН, Р. С. ОВСЕПЯН, А. Г. СИМОНЯН

ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ЗВУКОВОГО СИГНАЛА В ПОМЕЩЕНИИ НА ПРОЦЕСС ЕГО ЗАТУХАНИЯ

При определении времени реверберации используют короткие импульсные или стационарные сигналы [1, 2]. Разница во времени реверберации при этих сигналах иногда превышает погрешности измерения $\pm 10\%$, которая не носит закономерного характера [1]. Очевидно, это обусловлено нарушением диффузности звукового поля, несоответствием частотного состава излучаемых сигналов и их продолжительностью действия.

В работе рассматривается влияние продолжительности и формы излучаемого источником звукового сигнала на процесс затухания звука.

Пусть источник излучает в открытом пространстве или в заглушенной камере равномерно по всем направлениям энергию E , изменяющуюся во времени t по закону (излучаемый звуковой сигнал — «белый шум») (рис.):

$$\begin{aligned} E &= E(t) \quad \text{при } 0 \leq t \leq \tau; \\ E &= 0 \quad \text{при } \tau \leq t \leq \infty. \end{aligned} \quad (1)$$

Энергия E^* в помещении в какой-либо момент времени t будет равна сумме энергий, излученных ранее в различные моменты времени $t = t_1, t_2, \dots$ ($t < t_0$) с начальными энергиями, соответственно принимающими значения $E = E(t)$ (рис.). Принимая во внимание, что энергия звуковых лучей через время $t - t_0$ с момента излучения, согласно [2], определяется в виде

$$E' = E(t) e^{-\alpha n(t-t_0)},$$

где α — коэффициент поглощения помещения; n — количество отражений в единицу времени; t — момент излучения звукового луча и что в промежутке времени $\Delta t = 1/n$ изменением энергии $E(t)$ излучателя можно пренебречь, то энергия E^* в помещении при больших значениях n в момент времени t будет

$$E^* = n \int_0^{t_0} E(t) e^{-\alpha n(t_0-t)} dt. \quad (2)$$

Следовательно, зная закон изменения энергии (1), излучаемой источником в открытом пространстве или в заглушенной камере, можно найти энергию E^* в помещении в любой момент времени t .

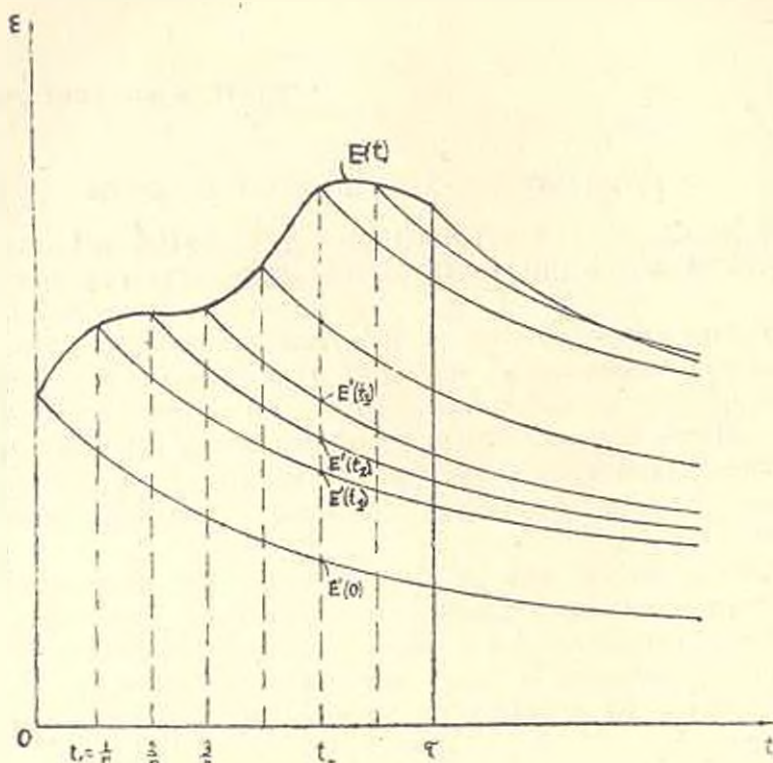


Рис. Кривые затухания звуковой энергии, получаемой источником в различные моменты времени t .

Если $E(t) = E_0 = \text{const}$ при $0 < t \leq \tau$, то энергия в помещении, согласно (2), изменяется по закону:

$$E^* = \frac{E_0}{\alpha} (1 - e^{-\alpha n t_0}) \quad \text{при } 0 \leq t_0 \leq \tau, \quad (3)$$

$$E^* = \frac{E_0}{\alpha} [e^{\alpha n (\tau - t_0)} - e^{-\alpha n t_0}] \quad \text{при } \tau \leq t_0 \leq \infty. \quad (4)$$

Зная закономерность спада звуковой энергии (4) в зависимости от продолжительности действия звукового сигнала τ , найдем время реверберации $T = t_0 - \tau$:

$$T = \frac{6}{\alpha n \lg e}. \quad (5)$$

Выражение (5) совпадает с общезвестными выражениями [2].

Таким образом, согласно [1], время реверберации (5) и закономерность спада звуковой энергии (4) не зависят от длительности τ излучаемого источником сигнала. Это легко можно показать также для

модели звукового поля Эйринга. Возможно, это вытекает из того, что классическая модель звукового поля отличается от реального, в частности, постоянством количества отражений в единицу времени для испускаемых источником по всевозможным направлениям звуковых лучей.

Допустим, звуковое поле в помещении возбуждается источником, излучающим одинаковый поток звуковой энергии по всевозможным направлениям, который распределяется равномерно по всему объему помещения и непрерывно поглощается его ограничивающими поверхностями. При этом количество отражений в единицу времени $(n + p_i)$, претерпеваемых лучами, испущенными в различных направлениях, распределено в некотором интервале $[n - q_1, n + q_2]$, где среднее значение n указанных $(n + p_i)$ определяется по статистической теории. Такая модель поля, очевидно, более близка к реальному звуковому полю, чем модель звукового поля по классической теории. В этом случае, исходя из выражений (3), (4), изменение во времени звуковой энергии E^* помещения будет:

возрастание энергии E^* при $E(t) = E_0 = \text{const}$ ($0 \leq t \leq \tau$),

$$E^* = \sum_{p_i=-q_1}^{q_2} \left[\frac{E_0}{\alpha} - \frac{E_0}{\alpha} e^{-\alpha(n+p_i)t_0} \right] \quad (0 \leq t_0 \leq \tau); \quad (6)$$

спад звуковой энергии ($\tau \leq t \leq \infty$)

$$E^* = \sum_{p_i=-q_1}^{q_2} \frac{E_0}{\alpha} \left[e^{-\alpha(n+p_i)(\tau-t_0)} - e^{-\alpha(n+p_i)t_0} \right] \quad (\tau \leq t_0 \leq \infty), \quad (7)$$

где $p_i = -q_1, -(q_1 - 1), \dots, -1, 0, 1, \dots, q_2$.

Исходя из (6), (7), время реверберации $T = (t_0 - \tau)$ определится:

$$\frac{\sum_{p_i=-q_1}^{q_2} \left| \frac{E_0}{\alpha} - \frac{E_0}{\alpha} e^{-\alpha(n+p_i)\tau} \right|}{\sum_{p_i=-q_1}^{q_2} \frac{E_0}{\alpha} \left| e^{-\alpha(n+p_i)\tau} - e^{-\alpha(n+p_i)(\tau+T)} \right|} = 10^6. \quad (8)$$

Из равенств (7), (8) вытекает, что время реверберации, а также вид кривой спада звуковой энергии после обрыва сигнала зависят от продолжительности его действия τ при распределении количества отражений в интервале $(n - q_1, n + q_2)$.

Если же рассмотреть поглощение как процесс, происходящий через определенные промежутки времени (время свободного пробега луча), при этом опять предположив, что количество отражений лучей в единицу времени распределено в некотором интервале, то энергия E^* в помещении в любой момент времени t_0 определяется следующими выражениями:

при $E(t) = E_0 = \text{const}$ ($0 \leq t \leq \tau$) —

$$E^* = \sum_{p_i=-q_1}^{q_2} \left[\frac{E_0}{2} - \frac{E_0}{2} (1-\alpha)^{(n+p_i)t_0+1} \right] \quad (0 \leq t_0 \leq \tau); \quad (9)$$

при $E(t) = E_0 = \text{const}$ ($\tau \leq t \leq \infty$) —

$$E^* = \sum_{p_i=-q_1}^{q_2} \frac{E_0}{2} \left[(1-\alpha)^{(n+p_i)t_0+1} - (1-\alpha)^{(n+p_i)t_0+1} \right] \quad (\tau \leq t_0 \leq \infty), \quad (10)$$

где $p_i = -q_1, -(q_1-1), \dots, -1, 0, +1, \dots, q_2$.

Время реверберации, исходя из выражений (9), (10), определяется из соотношения:

$$\frac{\sum_{p_i=-q_1}^{q_2} [1 - (1-\alpha)^{(n+p_i)t_0+1}]}{\sum_{p_i=-q_1}^{q_2} [(1-\alpha)^{(n+p_i)t_0+1} - (1-\alpha)^{(n+p_i)t_0+1}]} = 10^6. \quad (11)$$

Анализируя выражения (10), (11), можно прийти к выводу, что при скачкообразном поглощении энергии звукового поля ограничивающими поверхностями вид кривой спада и время реверберации также зависят от длительности действия сигнала. Необходимо отметить, что время реверберации, согласно равенствам (8) и (9), при $\tau = 0$ и $\tau = \infty$ одинаковы, но при малых ($\tau < \frac{1}{n+q_1}$, если $q_1 > q_2$) и больших ($\tau > \frac{1}{n+q_1}$) значениях τ это время не зависит от длительности сигнала.

Следовательно, для сравнения акустических условий помещений по времени реверберации необходимо его определять при этих значениях τ . При остальных значениях τ время реверберации и процесс затухания звуковых сигналов (7), (10) зависят от длительности действия сигнала в помещении.

Далее рассмотрим влияние формы сигнала на время реверберации и на спад звуковой энергии в помещении. Допустим источник излучает в помещении импульсный сигнал треугольного вида:

$$\begin{aligned} E(t) &= A - qt \quad \text{при } 0 \leq t \leq \tau, \\ E(t) &= 0 \quad \text{при } \tau \leq t \leq \infty, \end{aligned} \quad (12)$$

где A, q — постоянные величины; $\tau = A/q$ — длительность импульса.

Причем, что частотный состав сигнала (12) не меняется при изменении длительности τ . Отметим, что при рассмотренном выше случае импульсного сигнала прямоугольной формы ($E(t) = E_0 = \text{const}$) в выражении (1) также принимается это условие. Иначе, затухание

сигнала при различных его длительностях τ будет другим, т. к. коэффициент звукопоглощения α на различных частотах не одинаковый.

Энергия в помещении E^* , исходя из выражения (2), будет меняться по закону:

$$E^* = \frac{A}{\alpha} + e^{-\alpha n t_0} \left(A - \frac{A}{\alpha} - \frac{q}{\alpha^2 n} \right) - \frac{q}{\alpha^2 n} (\alpha n t_0 - 1) \quad (13)$$

при $0 \leq t_0 \leq \tau$;

$$E_* = \frac{A}{\alpha} e^{-\alpha n (\tau - t_0)} + e^{-\alpha n t_0} \left(A - \frac{A}{\alpha} - \frac{q}{\alpha^2 n} \right) - \frac{q}{\alpha^2 n} e^{-\alpha n (\tau - t_0)} (\alpha n \tau - 1) \quad (14)$$

при $\tau \leq t_0 \leq \infty$.

Из выражения (14) можно определить время реверберации, которое приводится к виду (5).

К такому же результату можно прийти при

$$E(t) = qt \quad (0 \leq t \leq \tau) \quad \text{и} \quad E(t) = 0 \quad (\tau \leq t \leq \infty),$$

при $q = \text{const}$.

Следовательно, при импульсных сигналах треугольного вида по классической теории время реверберации не зависит от длительности сигнала. По вышеприведенной же модели звукового поля, где количество отражений лучей распределено равномерно в некотором диапазоне, можно легко показать, исходя из формул (2), (3), что и при излучаемых треугольных импульсах вид кривой спада и время реверберации зависят от длительности сигнала.

Влияние длительности сигнала можно установить из вышеприведенных формул, если допустить, что коэффициент поглощения α помещения для различных лучей также распределен в некотором интервале $[\alpha - \alpha_1, \alpha + \alpha_1]$. При этом опять допускается неизменность частотного состава сигнала при изменении его длительности. Распределение α в некотором диапазоне наблюдается, когда звукопоглощающие материалы распределены неравномерно по всей поверхности помещения, т. е. поле в помещении не диффузно.

Непостоянство же частотного состава сигнала при изменении длительности τ приводит к различным α , что, как вытекает из формул (3), (4), является причиной зависимости времени реверберации от τ .

Следовательно, зависимость кривой спада и времени реверберации от длительности и формы сигнала наблюдается: 1) при нарушении диффузности звукового поля (α распределено в некотором интервале); 2) при изменении частотного состава излучаемого сигнала; 3) при распределении количества отражений луча в единицу времени в некотором интервале.

При $\tau \rightarrow 0$ или ∞ даже при нарушении диффузности время реверберации одно и то же.

Проведенное исследование позволяет при измерении времени реверберации (что является одним из основных параметров акустического качества помещений) определить оптимальную длительность действия излучаемого сигнала.

НПО «Аппа»

21. XI. 1984

Է. Ա. ՂԱՍՏԱՎՅԱՆ, Ռ. Ս. ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ, Ա. Դ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ

**ՉԱՅՆԱԶԳԻԱՆՇԱՆԻ ՏԵՎՈՂՈՒԹՅԱՆ ԱԶԳԵՅՈՒԹՅՈՒՆԸ ՆՐԱ
ՄԱՐՄԱՆ ՊՐԱՑՆՍԻ ՎՐԱ ՇԻՆՈՒԹՅՈՒՆՈՒՄ**

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Դիտարկվում է ձայնազդանշանի տևողության և ձևի ազդեցության խորն-
դիրքը նրա մարման պրոցեսի վրա շինություններում փճակազրական ունե-
րացիուն թևորիայի տեսանկյունից: Բացաճայտվել է, որ ունեբրացիայի ժամա-
նակը կախված է ձայնազդանշանի ներգործության տևողությունից և նրա ձև-
վից, բայց փոքր և մեծ տևողությունների դեպքում ունեբրացիայի ժամանակը
միևնույնն է:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Макриненко Л. И., Ширжецкий Х. А., Хартофилак А. С. О выборе звукового сигнала при измерениях времени реверберации в помещениях — В кн.: Труды НИИСФ. Строительная акустика, 1971, вып. 3, с. 98—102.
2. Качеролич А. И. Акустическое оборудование киностудий и театров. — М.: Искусство, 1980. — 239 с.