

УДК 534.2

DOI: 10.17277/voprosy.2015.03.pp.046-052

РАСЧЕТ ШУМОВЫХ ПОЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ПРИ РАБОТЕ ИСТОЧНИКОВ ШУМА ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

А. В. Бацунова

ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент д-р техн. наук, профессор В. П. Ярцев

Ключевые слова: метод расчета; мощность источника; непостоянный шум; периодические источники шума; плотность отраженного звука; уровень звукового давления; шум; энергия звука.

Аннотация: Рассмотрены принципы оценки непостоянного во времени шума от источников периодического действия с разными формами излучения. Расчет может использоваться для анализа влияния изменений звукопоглощения ограждений на шумовой режим производственных помещений с непостоянными во времени источниками шума, а также для решения ряда других практических задач борьбы с шумом в производственных зданиях.

Шумовые поля большинства производственных помещений имеют непостоянный во времени характер. Связано это с работой оборудования, излучающего непостоянную во времени звуковую мощность. В настоящее время нормируемой шумовой характеристикой рабочих мест при непостоянном шуме в основном является эквивалентный по энергии уровень звука. В то же время для оценки экономического ущерба от действия шума, гигиенической оценки и расчетов акустической эффективности мер по снижению шума требуется знать не только эквивалентный уровень, но и другие характеристики: максимальный уровень, соотношение максимальных и минимальных уровней и др. В данной работе представлены основные положения комбинированного метода расчета, позволяющего проводить оценку непостоянного шума во времени и определять указанные выше его характеристики.

Бацунова Анастасия Валерьевна – инженер кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги», e-mail: nastybac@rambler.ru, ТамбГТУ, г. Тамбов.

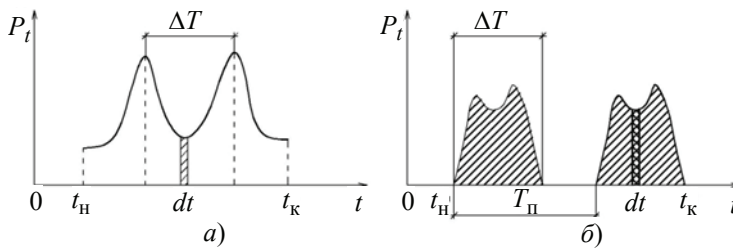


Рис. 1. Примерные схемы излучения звуковой энергии периодических источников непрерывного (а) и прерывистого (б) действия

Особенностью расчетов энергетических параметров непостоянного шума помещений является необходимость учета изменений во времени прямой и отраженной составляющих звуковой энергии, приходящей в расчетную точку. Расчет прямой составляющей энергии, как правило, не представляет сложностей. Формирование отраженного шумового поля – более сложный многофакторный процесс и в этой связи расчет отраженной составляющей шума имеет определенные трудности [1]. В статье предлагается метод расчета отраженной составляющей шума для случая работы в помещениях источников звуковой энергии периодического действия.

Решение такой задачи имеет значительный практический интерес, так как большинство источников шума можно считать источниками периодического действия, излучающими последовательно во времени определенные порции звуковой энергии. Примерные схемы излучения звуковой энергии источников периодического действия приведены на рис. 1.

Источники периодического действия (далее периодические источники) в общем случае не являются импульсными. В их работе могут отсутствовать периодические паузы при $\Delta T = T_{\text{п}}$, где $T_{\text{п}}$ – период между действиями источника, ΔT – продолжительность излучения повторяющейся по времени порции энергии (см. рис. 1).

Источники периодического действия характеризуются: периодом $T_{\text{п}}$, продолжительностью излучения порции звуковой энергии ΔT за период $T_{\text{п}}$ ($\Delta T \leq T_{\text{п}}$), графиком изменения акустической мощности P_t , а также продолжительностью действия источника шума $t \{t_{\text{н}}; t_{\text{к}}\}$.

Решение задачи о распределении отраженной звуковой энергии основано на комбинированном методе расчета непостоянных шумовых полей, изложенном в [2], который позволяет получить выражения для расчета отраженного шума в помещениях при действии в них источников периодического действия. Расчет состоит из двух этапов: из расчета изменения отраженной энергии в расчетной точке от одного периода действия источника и получения результирующего решения при длительном действии.

Рассмотрим распределение отраженной энергии от порции энергии периодического источника, излученной за время ΔT (рис. 2).

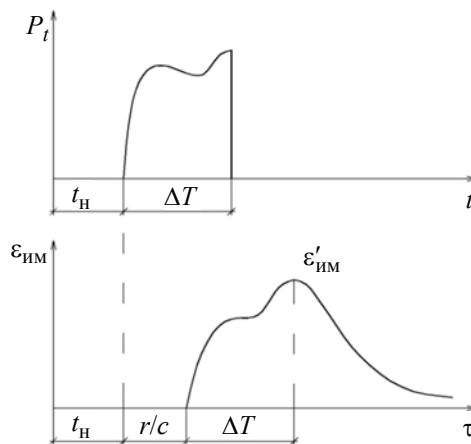


Рис. 2. Схема к расчету $\epsilon'_{\text{им}}$

Плотность отраженной звуковой энергии в расчетных точках помещения от излучения отдельной порции звуковой энергии за период действия источника определяется по формуле

$$\varepsilon_{\text{им}} = \int_{t_{\text{н}}}^{\tau} d\varepsilon. \quad (1)$$

Величина плотности отраженной звуковой энергии $\varepsilon_{\text{им}}$ в расчетной точке за один период действия источника звука определяется следующим образом:

– при $t_{\text{н}} + r/c \leq \tau \leq t_{\text{н}} + r/c + \Delta T$

$$\varepsilon_{\text{им}} = \int_{t_{\text{н}}}^{\tau - r/c} \varepsilon_{\text{п}} \frac{P_t}{P_{\text{п}}} \frac{\alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} \exp(-\alpha_{\text{ср}} c (\tau - t - r/c) / l_{\text{ср}}) dt; \quad (2)$$

– при $\tau = t_{\text{н}} + \Delta T + r/c$

$$\varepsilon'_{\text{им}} = \int_{t_{\text{н}}}^{t_{\text{н}} + \Delta T} \varepsilon_{\text{п}} \frac{P_t}{P_{\text{п}}} \frac{\alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} \exp(-\alpha_{\text{ср}} c (\tau + \Delta T - t) / l_{\text{ср}}) dt; \quad (3)$$

– при $\tau > t_{\text{н}} + r/c + \Delta T$

$$\varepsilon_{\text{им}} = \int_{t_{\text{н}}}^{t_{\text{н}} + \Delta T} \varepsilon_{\text{п}} \frac{P_t}{P_{\text{п}}} \frac{\alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} \exp(-\alpha_{\text{ср}} c (\tau - t - r/c) / l_{\text{ср}}) dt, \quad (4)$$

где $t_{\text{н}}$ – время начала излучения порции энергии; r/c – время запаздывания прихода энергии в точки на расстоянии r от источника; $\varepsilon'_{\text{им}}$ – величина плотности звуковой энергии в расчетной точке при времени наблюдения $\tau = t_{\text{н}} + \Delta T + r/c$ от излученной одиночной порции энергии за время ΔT ; c – скорость звука в воздухе; $\varepsilon_{\text{п}}$ – плотность звуковой энергии в расчетной точке от источника постоянной звуковой мощности $P_{\text{п}}$; $l_{\text{ср}}$ – средняя длина свободного пробега волны; $\alpha_{\text{ср}}$ – средний коэффициент звукопоглощения помещения.

С учетом (3) выражение (4) можно записать в виде

$$\varepsilon_{\text{им}} = \varepsilon'_{\text{им}} \exp(-\alpha_{\text{ср}} c T / l_{\text{ср}}), \quad (5)$$

где $T = \tau - t_{\text{н}} - r/c - \Delta T$.

В случае возрастающей функции P_t плотность звуковой энергии $\varepsilon'_{\text{им}}$ принимает максимальное значение.

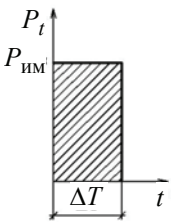
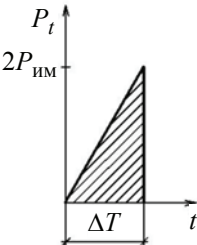
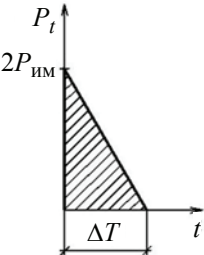
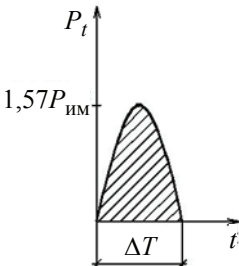
В таблице 1 приведено несколько характерных форм импульсов и даны выражения для их акустической мощности. Общая излученная энергия импульсов $P_{\text{им}}$ одинакова во всех случаях.

Значения $\varepsilon_{\text{им}}$ при различных параметрах периодических источников представлены в табл. 2.

В случае длительного действия источника шума в расчетную точку будет поступать энергия за большое число периодов его действия. Время прихода энергии от каждого периода определяется выражением $T + kT_{\text{п}}$, где k – коэффициент, $k = \{0; \infty\}$.

Таблица 1

**Варианты излучения звуковой энергии
периодическим источником**

Номер варианта	Схема	Выражение для P_t ($t_n = 0$; $t_k = T_n$)
1		$P_t = P_{им}$ при $0 < t < \Delta T$
2		$P_t = \frac{2P_{им}t}{\Delta T}$ при $0 < t < \Delta T$
3		$P_t = 2P_{им} \left(1 - \frac{t}{\Delta T}\right)$ при $0 < t < \Delta T$
4		$P_t = 1,57P_{им} \sin\left(\frac{\pi t}{\Delta T}\right)$ при $0 < t < \Delta T$

Результирующее значение плотности звуковой энергии в расчетной точке определится суммированием

$$\varepsilon_{\Sigma им} = \varepsilon'_{им} \sum_{k=0}^{\infty} \exp\left(-\alpha_{ср} c (T + kT_n) / l_{ср}\right). \quad (6)$$

После преобразования (6) получим

$$\varepsilon_{\Sigma им} = \varepsilon'_{им} \frac{\exp(-\alpha_{ср} c T / l_{ср})}{1 - \exp(-\alpha_{ср} c T / l_{ср})}. \quad (7)$$

**Формулы для расчета отраженной звуковой энергии
при одном периоде действия источника,
указанного в табл. 1**

Номер варианта	Условие	Формула для расчета $\varepsilon_{\text{им}}$
1	$\tau < \Delta T + r/c$	$\frac{\varepsilon_{\text{п}}}{P_{\text{п}}} P_{\text{им}} \left(1 - e^{\frac{-\alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} \tau} \right)$
	$\tau \geq \Delta T + r/c$	$\frac{\varepsilon_{\text{п}}}{P_{\text{п}}} P_{\text{им}} \left(1 - e^{\frac{-\alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} \Delta T} \right) e^{\frac{-\alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} (\tau - \Delta T)}$
2	$\tau < \Delta T + r/c$	$\frac{\varepsilon_{\text{п}}}{P_{\text{п}}} 2P_{\text{им}} \left[\frac{\tau}{\Delta T} - \frac{l_{\text{ср}}}{\Delta T \alpha_{\text{ср}} c} \left(1 - e^{\frac{-\alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} \tau} \right) \right]$
	$\tau \geq \Delta T + r/c$	$\frac{\varepsilon_{\text{п}}}{P_{\text{п}}} 2P_{\text{им}} \left(1 - \frac{l_{\text{ср}}}{\Delta T \alpha_{\text{ср}} c} \left(1 - e^{\frac{-\alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} \Delta T} \right) \right) e^{\frac{-\alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} (\tau - \Delta T)}$
3	$\tau < \Delta T + r/c$	$\frac{\varepsilon_{\text{п}}}{P_{\text{п}}} 2P_{\text{им}} \left[\left(1 - e^{\frac{-\alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} \tau} \right) \left(1 + \frac{l_{\text{ср}}}{\Delta T \alpha_{\text{ср}} c} \right) - \frac{\tau}{\Delta T} \right]$
	$\tau \geq \Delta T + r/c$	$\frac{\varepsilon_{\text{п}}}{P_{\text{п}}} 2P_{\text{им}} \left(1 - e^{\frac{-\alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} \Delta T} \left(\frac{\Delta T \alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} + 1 \right) \right) e^{\frac{-\alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} (\tau - \Delta T)}$
4	$\tau < \Delta T + r/c$	$\frac{\varepsilon_{\text{п}}}{P_{\text{п}}} \frac{1,57 P_{\text{им}}}{1 + \omega^2} \left[\sin \frac{\pi \tau}{\Delta T} + \omega \cos \frac{\pi \tau}{\Delta T} + \omega e^{\frac{-\alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} \tau} \right],$ $\omega = \frac{\pi l_{\text{ср}}}{\Delta T \alpha_{\text{ср}} c}$
	$\tau \geq \Delta T + r/c$	$\frac{\varepsilon_{\text{п}}}{P_{\text{п}}} \frac{1,57 P_{\text{им}} \omega}{1 + \omega^2} \left(1 + e^{\frac{-\alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} \Delta T} \right) e^{\frac{-\alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} (\tau - \Delta T)}$

Выражения $\varepsilon_{\Sigma_{\text{им}}}$ для источников из табл. 1

Номер варианта по табл. 1	$\varepsilon_{\Sigma_{\text{им}}}$
1	$\frac{\varepsilon_{\text{п}}}{P_{\text{п}}} P_{\text{им}} \frac{1 - e^{-\frac{\alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} \Delta T}}{1 - e^{-\frac{\alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} T_{\text{п}}}} e^{-\frac{\alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} T}$
2	$\frac{\varepsilon_{\text{п}}}{P_{\text{п}}} 2P_{\text{им}} \left(1 - \frac{l_{\text{ср}}}{\Delta T \alpha_{\text{ср}} c} \left(1 - e^{-\frac{\alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} \Delta T} \right) \right) \frac{e^{-\frac{\alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} T}}{1 - e^{-\frac{\alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} T_{\text{п}}}}$
3	$\frac{\varepsilon_{\text{п}}}{P_{\text{п}}} 2P_{\text{им}} \frac{l_{\text{ср}}}{\Delta T \alpha_{\text{ср}} c} \left(1 - e^{-\frac{\alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} \Delta T} \left(\frac{\Delta T \alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} + 1 \right) \right) \frac{e^{-\frac{\alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} T}}{1 - e^{-\frac{\alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} T_{\text{п}}}}$
4	$\frac{\varepsilon_{\text{п}}}{P_{\text{п}}} \frac{1,57 P_{\text{им}} \omega}{1 + \omega^2} \frac{\left(1 + e^{-\frac{\alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} \Delta T} \right) e^{-\frac{\alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} T}}{e^{-\frac{\alpha_{\text{ср}} c}{l_{\text{ср}}} T_{\text{п}}}},$ $\omega = \frac{\pi l_{\text{ср}}}{\Delta T \alpha_{\text{ср}} c}$

При отсутствии пауз в работе периодического источника или при $T > T_{\text{п}} - \Delta T$ к результату, полученному по выражению (7), необходимо прибавить величину $\varepsilon_{\text{им}}$, рассчитываемую по выражению (2). Это вызвано началом излучения следующей порции энергии.

Значения выражений $\varepsilon_{\Sigma_{\text{им}}}$ для источников, приведенных в табл. 1, даны в табл. 3.

В случае, если $T < T_{\text{п}} - \Delta T$, к выражениям, представленным в табл. 3, необходимо прибавить выражения из табл. 2.

Выполненные исследования по оценке непостоянного шума от источников периодического действия с различной формой излучения звуковой энергии показали возможность использования предложенной комбинированной расчетной модели для расчетов шума от источников периодического действия любой формы. Приведенные расчетные формулы для четырех наиболее распространенных форм импульсов позволяют производить целенаправленное проектирование средств снижения шума при работе таких источников.

Список литературы

1. Леденев, В. И. Статистические энергетические методы расчета шумовых полей при проектировании производственных зданий / В. И. Леденев. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. – 156 с.

2. Антонов, А. И. Метод расчета нестационарных шумовых полей в несоразмерных помещениях и помещениях сложных форм / А. И. Антонов, А. В. Бацунова, О. Б. Демин // *Academia. Архитектура и строительство*. – 2010. – С. 183 – 185.

References

1. Ledenev V.I. *Statisticheskie energeticheskie metodyi rascheta shumovyih poley pri proektirovanii proizvodstvennyih zdaniy* (Statistical methods for calculating the energy of the noise fields in the design of industrial buildings), Tambov: Izdatel'stvo Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2000, 156 p.

2. Antonov A.I., Batsunova A.V., Demin O.B. *Academia. Arhitektura i stroitelstvo*, 2010, pp. 183-185.

Measuring Noise Fields at Production Facilities with Temporary Sources of Noise

A. V. Batsunova

Tambov State Technical University, Tambov

Keywords: intermittent noise; method of calculation; noise; reflected sound density; sound energy; sound pressure level; source power; temporary sources of noise.

Abstract: The article describes the principles for measuring intermittent noise from temporary sources of noise with different forms of transmission. The measurements can be used to analyze the impact of changes in noise absorption of shields at industrial premises with temporary sources of noise, as well as to address a number of other practical problems of noise pollution control in industrial buildings.

© А. В. Бацунова, 2015