

УДК 534.21:628.517.2

**А. И. АНТОНОВ**, д-р техн. наук, проф. кафедры архитектуры и градостроительства<sup>1</sup>; **В. И. ЛЕДЕНЕВ**, д-р техн. наук, проф. кафедры городского строительства и автомобильных дорог<sup>1</sup>, вед. науч. сотр.<sup>2</sup>; **И. В. МАТВЕЕВА**, канд. техн. наук, доц. кафедры городского строительства и автомобильных дорог<sup>1</sup>; **И. Л. ШУБИН**, член-корр. РААСН, д-р техн. наук, дир. института<sup>2</sup>

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА НЕНОРМИРУЕМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИМПУЛЬСНОГО ШУМА, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОЦЕНКЕ ШУМОВОГО РЕЖИМА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Россия, 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, д. 112, корп. Е. Тел.: (4752) 63-09-20, (4752) 63-03-72; эл. почта: gsiad\_tambov@mail.ru

<sup>2</sup>ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН»

Россия, 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21. Тел.: (495) 482-40-16

*Ключевые слова:* импульсный шум, нормирование непостоянного шума, методы расчета шума, проектирование шумозащиты, производственные здания.

---

*Рассматриваются ненормируемые в настоящее время параметры импульсного шума, оказывающие вредное воздействие на организм человека. Показана необходимость их учета при разработке мер шумозащиты в производственных помещениях с импульсными источниками шума. Предложена методика расчета ненормируемых параметров импульсного шума с использованием разработанного авторами статьи комбинированного метода расчета импульсного шума, учитывающего зеркально-диффузный характер отражения звука от ограждений, позволяющего выполнять расчеты в помещениях сложной формы и имеющего меньшую по сравнению с другими методами трудоемкость. Дана экспериментальная оценка точности предложенного метода.*

---

Импульсным считается шум, состоящий из одного или нескольких последовательных сигналов (импульсов) длительностью не более 1 с. Он относится к непостоянным шумам, наиболее негативно воздействующим на организм человека. Многочисленными гигиеническими исследованиями доказано, что организм человека весьма чувствителен к динамическим параметрам импульсного шума, а именно: к длительности импульсов, частоте их следования, к росту импульсного звука над фоновым шумом, к неопределенности появления и следования импульсов [1, 2, 3]. Импульсный шум оказывает влияние на нервную и сердечно-сосудистую системы, органы дыхания, вестибулярный аппарат, слуховую чувствительность [1, 4, 5]. Изменения чувствительности слуха зависят от скорости нарастания и спадания уровней звука импульса от соотношения максимальных и минимальных уровней звука (модуляции уровней) [1, 4]. В целом было доказано, что импульсный шум более агрессивен по своему воздействию на организм человека по сравнению с другими видами шумов.



В настоящее время импульсный шум в России нормируется так же, как и все непостоянные во времени шумы. Для его оценки используется эквивалентный скорректированный по А уровень звука  $L_{Aэкв}$ , дБ, и максимальный скорректированный по А уровень звука  $L_{Aмакс}$ , дБ. Считается, что этих показателей достаточно для оценки его соответствия как непостоянного шума нормативным требованиям. Однако, учитывая указанные выше особенности влияния импульсного шума на организм человека, при разработке мероприятий по его снижению путем изменения его динамических и других характеристик необходимы сведения о его ненормируемых в настоящее время параметрах [6]. К ним относятся максимальные и минимальные уровни звука импульсов, их соотношение между собой (модуляция), а также скорость затухания звуковой энергии в промежутках между импульсами.

Снижение вредных воздействий указанных параметров импульсного шума возможно путем применения различных мероприятий, связанных с конструктивными изменениями в источниках импульсного звука, с организационно-технологическими, архитектурно-планировочными и строительно-акустическими мерами, выполняемыми в помещениях с импульсным шумом [7].

За счет конструктивных мер возможны изменения формы и длительности излучения импульсной энергии, частоты следования импульсов, ширины спектра излучения, уровня звуковой мощности импульса. Перечисленные мероприятия в основном направлены на изменения характеристик прямого звука, приходящего непосредственно от источника до рабочего места. В то же время импульсный шумовой режим рабочих мест определяется не только прямым звуком, но и возникающей при этом отраженной составляющей шума. Отраженная звуковая энергия существенным образом влияет на модуляцию уровней и скорость их спада в промежутках между импульсами. Известно, что формирование и распределение отраженной энергии определяется объемно-планировочными параметрами помещений и их акустическими характеристиками [8, 9]. В случае импульсного шума на формирование отраженной составляющей кроме этого оказывают влияние уровни звуковой мощности импульса, его форма и длительность действия, а также периодичность следования импульсов [10].

Величины отраженной энергии в помещении изменяются по мере удаления от источника шума. Это обстоятельство влияет на глубину модуляции импульсов. Например, установлено, что чем дальше расчетная точка находится от источника, тем меньше глубина модуляции [7]. В свою очередь скорость затухания звуковой энергии в расчетной точке определяется происходящими в помещении процессами реверберации [11]. По этим причинам при определении ненормируемых параметров импульсного шума необходимо использовать методы, позволяющие определять его пространственно-временные характеристики [12].

На выбор метода расчета энергетических характеристик импульсного шума существенно влияют акустические характеристики помещения [13]. Среди них важное значение имеет характер отражения звука от ограждений [14]. Нами установлено, что наиболее близкой к реальному характеру отражения звука от ограждений является зеркально-диффузная модель отражения [9]. При таком отражении в помещении образуется переменное во времени звуковое поле, состоящее из поля прямого звука и полей зеркальной и диффузно-рассеянной



составляющих отраженного звука. В этом случае расчет уровней звукового давления в  $i$ -ой расчетной точке помещения в любой момент времени  $\tau$  производится по формуле

$$L_{\tau i} = 10 \lg \left[ \frac{(\varepsilon_{\tau i}^{\text{пр}} + \varepsilon_{\tau i}^3 + \varepsilon_{\tau i}^{\text{д}})c}{I_0} \right], \quad (1)$$

где  $\varepsilon_{\tau i}^{\text{пр}}$ ,  $\varepsilon_{\tau i}^3$ ,  $\varepsilon_{\tau i}^{\text{д}}$  – плотности прямой звуковой энергии, зеркальной и диффузно-рассеянной составляющих отраженной звуковой энергии в  $i$ -ой расчетной точке объема помещения в момент времени  $\tau$ ;  $I_0$  – интенсивность звука на пороге слышимости;  $c$  – скорость звука в воздухе.

Анализ возможных методов расчета энергетических параметров постоянного шума в помещениях с зеркально-диффузным отражением звука от ограждений показывает возможность использования для оценки динамических характеристик импульсного шума комбинированных методов расчета, основанных на использовании для расчета прямого звука и зеркально отраженной составляющей звука – метода прослеживания лучей, а для диффузно-рассеянного звука – методов, основанных на интегральном уравнении Куттруфа или на численном статистическом энергетическом методе [9]. Установлено, что наиболее приемлемой для решения практических задач по определению динамических характеристик импульсного шума является комбинированная расчетная модель, основанная на методе прослеживания лучей и численном статистическом энергетическом методе [9]. Модель обеспечивает быстрое действие расчетов и несмотря на некоторые упрощения дает приемлемую точность определения ненормируемых параметров импульсного шума.

Методика расчета импульсного шума в этом случае заключается в следующем.

Весь объем помещения разделяется на элементарные объемы, в пределах которых характер изменения диффузно-рассеянной составляющей отраженного шума может быть принят линейным. Такое разделение необходимо в связи с тем, что для расчета диффузно-рассеянной составляющей шума используется численный статистический энергетический метод. В этом случае все ограждающие поверхности помещения также делятся на элементарные площадки  $ds$ . Принимается, что в пределах каждой такой площадки зеркальная и диффузно-рассеянная энергии остаются постоянными по всей площади  $ds$ .

Согласно методике, приведенной в [9], в зависимости от формы и размеров помещения выбираются коэффициенты рассеяния падающей на ограждения зеркальной энергии  $\beta$ , а также принимаются коэффициенты звукопоглощения  $\alpha$  площадок  $ds$ .

Устанавливаются координаты источника импульсного звука и его характеристики, необходимые для расчета, а именно, звуковая мощность импульса, форма импульса, длительность и периодичность импульса.

Производится расчет плотности прямой энергии импульса в  $i$ -ой расчетной точке помещения от всех  $k$ -х лучей, приходящих в расчетную точку в момент наблюдения  $\tau$ . Плотность прямой энергии определяется методом прослеживания лучей по выражению



$$\varepsilon_{\tau i}^{\text{пр}} = \frac{\sum_{k=1}^{K_{\text{пр}}} W_{(\tau-r_{ki}/c)} \exp(-m_{\text{в}} r_{ki})}{cNS_{\text{пр}}}, \quad (2)$$

где  $r_{ki}$  – расстояние, пройденное  $k$ -м прямым лучом от источника до  $i$ -ой расчетной точки;  $W_{(\tau-r_{ki}/c)}$  – акустическая мощность импульсного источника звука в момент времени наблюдения  $\tau$  для  $i$ -ой расчетной точки с учетом времени запаздывания прихода звуковой энергии в нее;  $r_{ki}/c$  – время запаздывания прихода  $k$ -го луча в  $i$ -ю расчетную точку относительно времени его излучения;  $N$  – количество лучей, исходящих из импульсного источника звука;  $m_{\text{в}}$  – постоянная затухания звука в воздухе;  $K_{\text{пр}}$  – количество прямых лучей, пришедших в  $i$ -ю расчетную точку в момент времени наблюдения  $\tau$ ;  $S_{\text{пр}}$  – площадь поперечного сечения приемника звуковой энергии, который принимается в виде сферы с центром в расчетной точке. За площадь  $S_{\text{пр}}$  в данном случае принимается площадь поперечного сечения сферы, равной объему элемента.

Методом прослеживания лучей производится расчет плотности зеркальной составляющей отраженной энергии  $\varepsilon_{\tau i}^3$ , приносимой в  $i$ -ю расчетную точку  $k$ -ми отраженными лучами в момент наблюдения  $\tau$ . Величина плотности определяется по выражению

$$\varepsilon_{\tau i}^3 = \frac{\sum_{k=1}^{K_3} W_{(\tau-r_{ki}/c)} \exp(-m_{\text{г}} r_{ki}) \prod_{p=1}^P [(1-\alpha_p)(1-\beta_p)]^{D_p}}{cNS_{\text{пр}}}, \quad (3)$$

где  $r_{ki}$ ,  $W_{(\tau-r_{ki}/c)}$ ,  $r_{ki}/c$  – то же, что и в формуле (2);  $K_3$  – количество зеркальных лучей, пришедших в  $i$ -ю расчетную точку в момент времени наблюдения  $\tau$  с учетом их возможного повторного прохождения через расчетную точку;  $D_p$  – количество актов падения луча на  $p$ -ю поверхность в процессе его распространения на расстояние  $r_{ki}$  до  $i$ -ой расчетной точки;  $P$  – общее количество поверхностей с разными коэффициентами звукопоглощения, от которых отражается  $k$ -й луч на своем пути;  $\alpha_p$  – коэффициент звукопоглощения  $p$ -й поверхности ограждения, на которую падал прослеживаемый луч;  $\beta_p$  – коэффициент рассеяния энергии зеркального после его отражения от поверхности ограждений. Так как коэффициент  $\beta$  практически невозможно определить для каждой отдельной поверхности, при расчетах его следует принимать одинаковым для всех поверхностей помещений [9].

Производится расчет плотности диффузно-рассеянной энергии  $\varepsilon_{\tau i}^{\text{д}}$ . Для ее расчета предлагается использовать следующий подход. Распределение плотности диффузно-рассеянной отраженной энергии определяется численным статистическим энергетическим методом, а ее временные изменения в расчетных точках оцениваются с использованием зависимостей Сэбина и Эйринга, имеющих, соответственно, вид

$$\varepsilon_{\tau} = \varepsilon_{0(t)} \exp(-c\bar{\alpha}t/\bar{l}), \quad (4)$$

$$\varepsilon_{\tau} = \varepsilon_{0(t)} c \ln((1-\bar{\alpha})/\bar{l}), \quad (5)$$



где  $\varepsilon_{0(t)}$  – плотность звуковой энергии в расчетной точке в момент отключения источника с переменной мощностью  $W_t$ ;  $\bar{\alpha}$  – средний коэффициент звукопоглощения в помещении;  $\bar{l}$  – средняя длина свободного пробега звуковых лучей в условиях диффузного поля.

Численный статистический энергетический метод позволяет определять величины звуковой энергии в условиях квазидиффузного звукового поля, в котором при наличии спадов диффузно отраженной энергии сохраняется признак диффузности по изотропности прихода диффузно рассеянных звуковых лучей в расчетную точку [8, 9]. Практика применения уравнений Сэбина или Эйринга для анализа времени реверберации и определения звукопоглощающих характеристик реальных помещений различных пропорций позволяет использовать их и для расчета временных изменений энергии импульсного шума [15].

Расчет энергетических характеристик диффузно-рассеянной составляющей импульсного шума производится с использованием импульсной характеристики помещения [16, 17, 18]. В этом случае изменение плотности диффузно-рассеянной звуковой энергии в  $i$ -ой расчетной точке в момент времени  $\tau$  оценивается по выражению

$$\varepsilon_{\tau i}^{\Delta} = \int_{t_n}^{t_k} W_{(t)} f_{(T)} \Delta t, \quad (6)$$

где  $t_n$ ,  $t_k$  – время начала и окончания действия источника;  $f_{(T)}$  – импульсная характеристика помещения, представляющая собой нормализованное выражение изменения энергии при действии импульса от источника с единичной акустической мощностью.

$$f_{(T)} = \frac{\varepsilon_{\text{им}}}{W_{\text{им}} \Delta t}, \quad (7)$$

где  $T = \tau - t - r/c$  – приведенное время. Величина приведенного времени  $T$  зависит от времени наблюдения  $\tau$ , момента излучения импульса энергии  $t$  и времени задержки  $r/c$  прихода первых отражений в расчетную точку. С достаточной точностью задержка во времени определяется расстоянием  $r$  между источником шума и расчетной точкой. При  $T = 0$  в расчетной точке начинается рост отраженной энергии от действия импульса.

Последовательность действий по расчету диффузно-рассеянной энергии импульсного шума в этом случае заключается в следующем. Сначала в расчетных точках помещения рассчитывается плотность звуковой энергии  $\varepsilon_n$  от постоянного источника шума со звуковой мощностью  $W_n$ . Затем составляется выражение для расчета плотности энергии  $\varepsilon_{\text{им}i}$  от одиночного импульса.

За время  $\Delta t$  энергия в  $i$ -ой расчетной точке возрастет до величины

$$\varepsilon_{\text{им}i} = \frac{\varepsilon_{ni}}{W_n} \left[ 1 - \exp\left(\frac{-\bar{\alpha}c\Delta t}{\bar{l}}\right) \right] \approx \frac{\varepsilon_{ni}\bar{\alpha}c}{W_n\bar{l}} \Delta t. \quad (8)$$

Затухание энергии импульса описывается выражением

$$\varepsilon_{\text{им}i} = \frac{\varepsilon_{ni}}{W_n} \cdot \frac{\bar{\alpha}c \cdot \Delta t}{\bar{l}} \exp\left(\frac{-\bar{\alpha}c(\tau - t - r/c)}{\bar{l}}\right). \quad (9)$$

Используя формулы (7) и (9), можно записать выражение для импульсной характеристики помещения в  $i$ -ой расчетной точке в виде



$$f_{(T)} = \frac{\varepsilon_{ni}}{W_{\Pi}} \frac{\bar{\alpha}c}{\bar{l}} \exp\left(\frac{-\bar{\alpha}c \cdot T}{\bar{l}}\right) \quad (10)$$

и, соответственно, произвести расчет  $\varepsilon_{\tau i}^A$  по формуле (6), решая его численным методом.

Выражения (8) и (10) представлены исходя из зависимости Сэбина. При необходимости можно использовать и зависимость Эйринга, заменив  $\bar{\alpha}$  на  $\ln(1 - \bar{\alpha})$ .

Расчет плотности энергии  $\varepsilon_{ni}$  производится численным методом, реализующим математическую модель, описывающую распределение плотности диффузной энергии в квазидиффузном звуковом поле в виде уравнения в частных производных второго порядка [8]

$$\eta \nabla^2 \varepsilon_{\Pi}^A - cm_g \varepsilon_{\Pi}^A = 0 \quad (11)$$

с граничными условиями, определяющими плотности потоков  $\bar{q}$  на площадках  $ds$

$$\bar{q}|_{ds} = \beta(1 - \alpha_{ds})I|_{ds} - \frac{c \cdot \alpha_{ds}}{2(2 - \alpha_{ds})} \varepsilon_{\Pi}^A \Big|_{ds}, \quad (12)$$

где  $\eta = 0.5cl_{cp}$  – коэффициент связи плотности потока и градиента плотности диффузно рассеянной отраженной энергии [19];  $\beta$  – коэффициент рассеяния зеркальных лучей, падающих на ограждения помещения;  $\alpha_{ds}$  – коэффициент звукопоглощения площадки ограждения  $ds$ ;  $I$  – интенсивность прямой и отраженной зеркальной звуковой энергии, приходящей на площадку  $ds$  с учетом угла падения на нее звуковых лучей, определяемая по формуле

$$I = \frac{W_n}{ds \cdot N} \left\{ \sum_{k=1}^{K_{\text{пр}}} \exp(-m_{\text{в}} r_{K_{\text{пр}}}) \cos \theta_{\text{пр}} + \sum_{k=1}^{K_3} \exp(-m_{\text{в}} r_{K_3}) \cos \theta_3 \prod_{p=1}^P [(1 - \alpha_p)(1 - \beta)]^{D_p} \right\}, \quad (13)$$

где  $K_{\text{пр}}$  и  $K_3$  – количество прямых и зеркальных лучей, пришедших на площадку  $ds$ ;  $\theta_{\text{пр}}$  и  $\theta_3$  – углы падения прямых и отраженных зеркальных лучей на площадку  $ds$ ;  $r_{K_3}$  и  $r_{K_{\text{пр}}}$  – расстояния, прошедшие  $k$ -ми прямыми и зеркальными лучами до площадки  $ds$ .

Первый член правой части граничных условий (12) определяет ввод диффузно-рассеянной энергии в объем помещения с поверхности элемента  $ds$  после падения на него прямого звука и зеркальной составляющей. Второй член определяет интенсивность поглощения диффузно рассеянной энергии, падающей на элемент  $ds$  из помещения.

В случае численного решения уравнения (11) с граничными условиями (12) для каждого элементарного объема, на которые разбит весь объем помещения, составляется уравнение баланса диффузно-рассеянной звуковой энергии в единицу времени. Общее распределение плотности диффузно-рассеянной энергии  $\varepsilon_{\Pi}$  по объему помещения находится из решения полученной системы алгебраических уравнений. Данная методика подробно рассмотрена в монографии [9].

После определения по формуле (6) величины  $\varepsilon_{\tau i}^A$  производится окончательный расчет уровней звукового давления  $L_{\tau i}$  по формуле (1).

Предложенный метод расчета дает возможность рассчитывать плотности звуковой энергии в расчетных точках пространства помещений при различных временных параметрах акустической мощности  $W_{(t)}$  импульсных источников шума, а также исследовать процессы нарастания и затухания импульсной энергии

**К СТАТЬЕ А. И. АНТОНОВА, В. И. ЛЕДЕНЕВА, И. В. МАТВЕЕВОЙ,  
И. Л. ШУБИНА «МЕТОДИКА РАСЧЕТА НЕНОРМИРУЕМЫХ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИМПУЛЬСНОГО ШУМА, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ  
ОЦЕНКЕ ШУМОВОГО РЕЖИМА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ»**

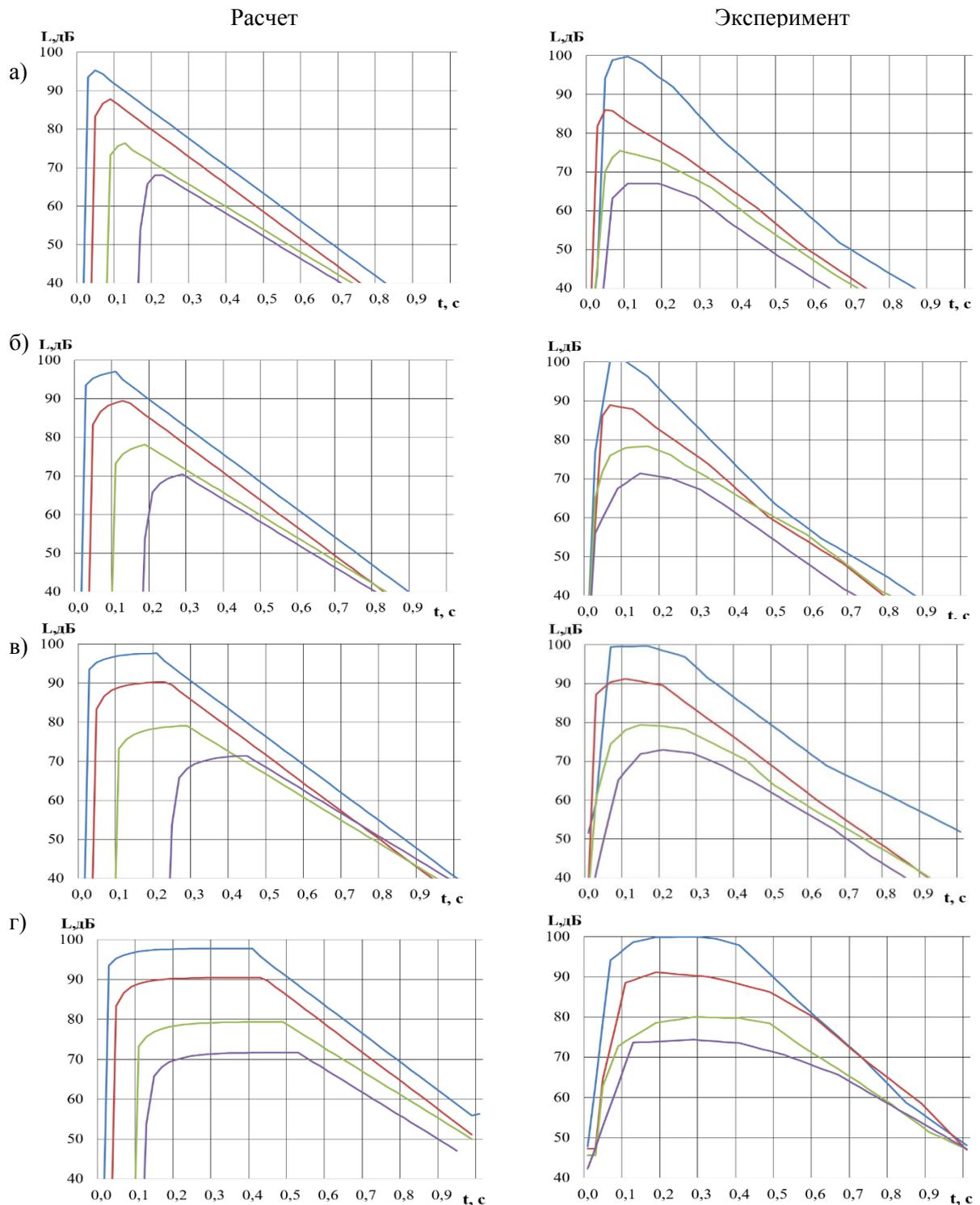


Рис. 1 - Графики изменения уровней в точках — T1 , — T2 , — T3 , — T4 при длительности импульса: а) — 0.05с; б) — 0.1с; в) — 0.2с; г) — 0.4 с

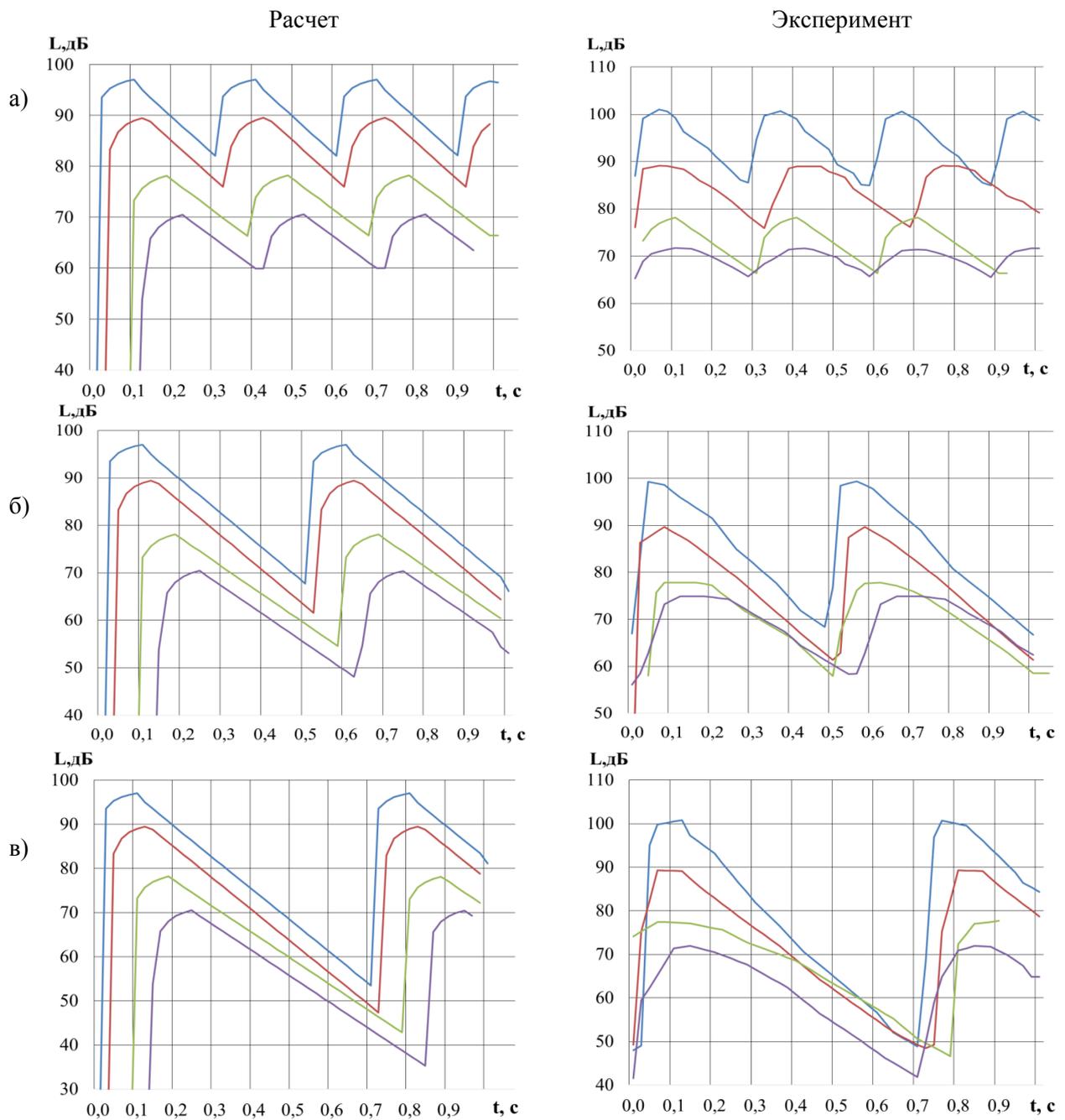


Рис. 2 Графики изменения уровней в точках — T1 , — T2 , — T3 , — T4 при длительности импульса 0.10 с и при периодичности действия источника: а) — 0.3с; б) — 0.5с; в) — 0.7с

как при кратковременном, так и при длительном периодическом действии импульсного источника.

Предварительно выполненное сравнение расчетов данным методом с расчетными методами, в которых диффузно-рассеянная составляющая отраженного шума определяется точным методом на основе интегрального уравнения Куттруфа, показало удовлетворительную для практических расчетов сходимостью результатов.

Для оценки точности метода был также выполнен сравнительный анализ расчетов с результатами экспериментальных исследований в помещениях с различными пропорциями и формами. Ниже в качестве примера приведены результаты сравнительного анализа расчетов, выполненных предлагаемым методом, с данными экспериментальных исследований в помещении со сложной формой плана.

Схема помещения и расположение в нем точек расчета и источника шума приведены на рис. 1.

В целом помещение представляет собой систему связанных большими открытыми проемами объемов.

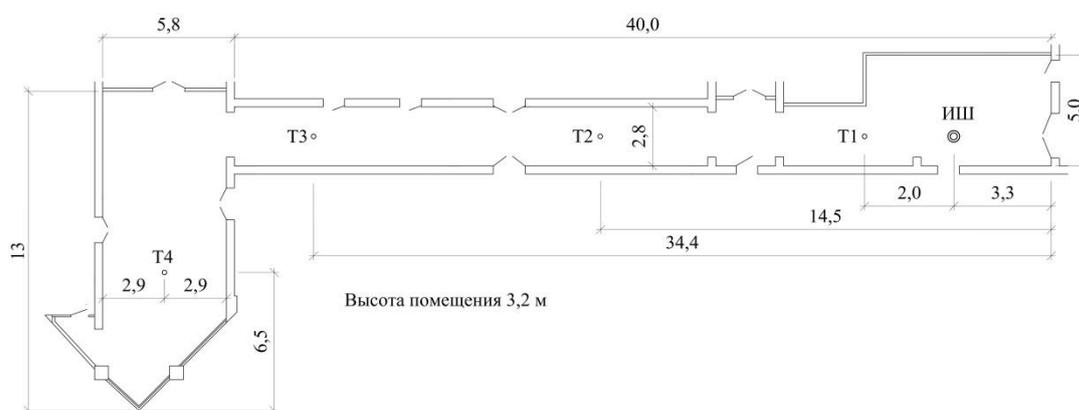


Рис. 1. Схема помещения с указанием положения расчетных точек (Т1 – Т4) и положения источника шума (ИШ1). Размеры даны в метрах

Как видно из схемы, большая часть помещения относится по пропорциям к длинным помещениям коридорного типа. Другие торцевые участки помещения по пропорциям относятся к соразмерным помещениям. Все ограждения помещения имеют следующую отделку: полы выполнены из керамической плитки; стены окрашены акриловой краской, при этом на стенах имеется большое количество остекленных информационных поверхностей; потолки устроены со звукопоглощающим покрытием.

Расчеты шума и экспериментальные исследования выполнены в октавных полосах во всем нормируемом диапазоне частот. Ниже даны результаты сравнительного анализа для октавной полосы частот со среднегеометрической частотой  $f_{cp} = 1000$  Гц. В данной полосе частот средний коэффициент звукопоглощения помещения равен  $\bar{\alpha} = 0,16$ . Характер отражения звука – зеркально-диффузный. Коэффициент рассеяния зеркальной звуковой энергии, определенный в соответствии с методикой, приведенной в [9], составляет  $\beta = 0,60$ . Звуковая мощность импульсного источника равна 108 дБ.

Эксперименты и расчеты выполнялись при изменениях длительности импульсов и при изменениях периодичности действия источника. Результаты сравнения приведены на рис. 1 и 2 цв. вклейки.



Как видно, результаты расчетов и экспериментов согласуются между собой. Это обстоятельство свидетельствует о пригодности предложенного комбинированного метода для оценки ненормируемых параметров импульсного шума и для прогнозирования их изменений при выборе различных мер снижения импульсного шума.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Суворов, Г. А. Импульсный шум и его влияние на организм человека / Г. А. Суворов, А. М. Лихницкий. – Ленинград : Медицина, 1975. – 207 с.
2. Хаймович, М. Л. О влиянии импульсного шума на организм работающих / М. Л. Хаймович // Действие шума и вибрации на организм : тезисы докладов III Всесоюзная конференция по борьбе с шумом и вибрацией. – Челябинск, 1980. – С. 35–37.
3. Суворов, Г. А. Роль информационной неопределенности нестационарного шума в процессе его действия на организм человека / Г. А. Суворов, А. М. Лихницкий // Новые системы исследований шумов и вибраций и кибернетическая диагностика машин и механизмов : материалы Всесоюзного симпозиума / Каунасский политехнический институт. – Каунас, 1970. – С. 77–79.
4. Симухин, В. В. Медико-биологические эффекты импульсных шумов и особенности их гигиенического нормирования / В. В. Симухин, А. А. Ворона, А. В. Богомоллов [и др.] // Безопасность в техносфере. – 2012. – Том 1, № 6. – С. 36–43.
5. Гершуни, Г. В. Оценка функционального значения электрических ответов слуховой системы (ответы на экспоненциально возрастающие широкополосные шумы и тоны) / Г. В. Гершуни, Н. В. Забоева // Физиологический журнал СССР им. И. М. Сеченова. – Москва, Ленинград : Академия наук, 1962. – Том 48, № 10. – С. 1178–1186.
6. Рысин, Ю. С. О влиянии ненормированных параметров акустических сигналов и шумов на человека / Ю. С. Рысин // Т-Сотт – Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9, № 5. – С. 54–56.
7. Расчеты импульсного шума при проектировании средств его снижения в производственных зданиях / А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, И. Л. Шубин // Строительство и реконструкция. – 2019. – № 3 (83). – С. 22–23.
8. Расчеты шума при проектировании шумозащиты в производственных зданиях / А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, И. Л. Шубин. – Москва-Берлин : Директ-Медиа, 2020. – 274 с.
9. Расчеты шума в гражданских и промышленных зданиях при зеркально-диффузном отражении звука от ограждений / А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, И. Л. Шубин. – Москва : Директмедиа Пабблишинг, 2022. – 192 с. – ISBN 978-5-4499-2953-2.
10. Исследование влияния характеристик источников импульсного шума на распределение звуковой энергии в помещениях / В. И. Леденев, О. А. Жоголева, М. А. Пороженко, В. А. Аистов // Устойчивое развитие региона : архитектура, строительство и транспорт : материалы VIII Международной научно-практической конференции. – Тамбов : Чеснокова А. В., 2021. – С. 216–218.
11. Моделирование реверберационных процессов в производственных помещениях с импульсными источниками звука / А. И. Антонов, О. А. Жоголева, В. И. Леденев, И. В. Матвеева // Приволжский научный журнал / Нижегородский архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 3(63). – С. 9–17.
12. Антонов, А. И. Методы оценки пространственно-временных изменений импульсного шума при проектировании шумозащиты в производственных зданиях / А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, Е. О. Соломатин // Приволжский научный



журнал / Нижегородский архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, – 2021. – № 4 (60). – С. 9–16.

13. Антонов, А. И. Условия, определяющие процессы формирования шумового режима в замкнутых объемах, и их учет при оценке распределения звуковой энергии в помещениях / А. И. Антонов, А. В. Бацунова, И. Л. Шубин // Приволжский научный журнал / Нижегородский архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, – 2015. – № 3 (35). – С. 89–96.

14. Влияние характера отражения звука от ограждений на выбор метода расчета воздушного шума в гражданских и промышленных зданиях / А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, О. О. Федорова // Приволжский научный журнал / Нижегородский архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2017. – № 2 (42). – С. 16–23.

15. Скучик, Е. Основы акустики / Е. Скучик. – Москва : Издательство иностранной литературы, 1958. – Том 2. – 55 с.

16. Расчет непостоянного шума с использованием функции отклика помещения, определяемой по экспериментальным данным / А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, М. А. Пороженко // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2021. – Том 23, № 6. – С. 117–128. – DOI 10.31675/1607-1859-2021-23-6-117-128.

17. Non-constant noise calculation using the room response function / A. Antonov, V. Ledenev, N. Merkusheva [et al.] // Advances in Noise and Vibration Control Technology : proceedings of 2020 International congress on noise control engineering, INTER-NOISE 2020 : 49, Seoul, 23–26 августа 2020 года. – Seoul, 2020.

18. Оценка энергетических параметров речи на основе импульсной характеристики помещения / И. Л. Шубин, А. И. Антонов, И. В. Матвеева, Т. С. Яровая // Academia. Архитектура и строительство. – 2023. – № 1. – С. 108–114. – DOI 10.22337/2077-9038-2023-1-108-114.

19. Coupling Coefficient of Flux Density and Density Gradient of Reflected Sound Energy in Quasi-Diffuse Sound Fields / A. I. Antonov, V. I. Ledenev, T. O. Nevenchannaya [et al.] // Journal of Theoretical and Computational Acoustics. – 2019. – Vol. 27, No. 2. – P. 1850053. – DOI 10.1142/S2591728518500536.

**ANTONOV Aleksandr Ivanovich, doctor of technical sciences, professor of the chair of architecture and town planning<sup>1</sup>; LEDENEV Vladimir Ivanovich, doctor of technical sciences, professor of the chair of urban development and roads<sup>1</sup>; leading researcher<sup>2</sup>; MATVEEVA Irina Vladimirovna, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of urban development and roads<sup>1</sup>; SHUBIN Igor Lyubimovich, corresponding member of the RAACS, doctor of technical sciences, director of the institute<sup>2</sup>**

## **THE METHOD OF CALCULATING NON-NORMALIZED PULSE NOISE INDICATORS USED IN ASSESSING THE NOISE REGIME IN INDUSTRIAL BUILDINGS**

<sup>1</sup>Tambov State Technical University

112-E, Michurinskaya St., Tambov, 392032, Russia. Tel.: +7 (4752) 63-09-20, +7 (4752) 63-03-72; e-mail: gsiad@mail.tambov.ru

<sup>2</sup>Research Institute of Building Physics of RAACS,

21, Lokomotivny Dr., Moscow, 127238, Russia. Tel.: +7 (495) 482-40-16

*Key words:* pulse noise, normalization of non-constant noise, noise calculation methods, noise protection design, industrial buildings.



*The article considers parameters of pulse noise that are currently not normalized and have a harmful effect on the human body. The necessity of taking them into account when developing noise protection measures in industrial premises with pulsed noise sources is shown. A method for calculating the non-normalized pulse noise parameters is proposed using the combined pulse noise calculation method developed by the authors of the article, which takes into account the mirror-diffuse nature of sound reflection from fences, which allows calculations to be performed in complex-shaped spaces and has a lower labor intensity compared to other methods. An experimental assessment of the accuracy of the proposed method is given.*

## REFERENCES

1. Suvorov G. A., Likhmitskiy A. M. Impulsny shum i ego vliyanie na organizm cheloveka [Pulse noise and its effect on the human body] / Leningrad : Meditsina, 1975. – 207 p.
2. Khaymovich M. L. O vliyaniy impulsnogo shuma na organizm rabotayushchikh [On the effect of pulse noise on the body of workers] // Deystvie shuma i vibratsii na organizm [The effect of noise and vibration on the body] : tezisy dokladov III Vsesoyuznaya konferentsiya po borbe s shumom i vibratsiyey. Chelyabinsk, 1980. P. 35–37.
3. Suvorov G. A., Likhmitskiy A. M. Rol informatsionnoy neopredelyonnosti nestatsionarnogo shuma v protsesse ego deystviya na organizm cheloveka [The role of information uncertainty of non-stationary noise in the process of its effect on the human body] // Novye sistemy issledovaniy шумов i vibratsiy i kiberneticheskaya diagnostika mashin i mekhanizmov: materialy Vsesoyuznogo simpoziuma. Kaunasskiy politekhnich. in-t. Kaunas. 1970. P. 77–79.
4. Simukhin V. V., Vorona A. A., Bogomolov A. V. [et al.] Mediko-biologicheskie efekty impulsnykh шумов i osobennosti ikh gigienicheskogo normirovaniya [Biomedical effects of pulse noises and features of their hygienic regulation] / Bezopasnost v tekhnosfere [Safety in Technosphere]. 2012. Vol. 1. № 6. P. 36–43.
5. Gershuni G. V., Zaboeva N. V. Otsenka funktsionalnogo znacheniya elektricheskikh otvetov slukhovoy sistemy (otvety na eksponentsialno vozrastayushchie shirokopolosnye shumy i tony) [Assessment of the functional significance of the electrical responses of the auditory system (responses to exponentially increasing broadband noises and tones)] / Fiziol. zhurn. SSSR im. I. M. Sechenova [USSR Journal of Physiology named after I. M. Sechenov]. Moscow, Leningrad : Akademiya nauk, 1962. Vol. 48. № 10. P. 1178–1186.
6. Rysin Yu. S. O vliyaniy nenormirovannykh parametrov akusticheskikh signalov i шумов na cheloveka [On the effect of abnormal parameters of acoustic signals and noises on humans] // T-Comm: Telekommunikatsii i transport [T-Comm: Telecommunications and transport]. 2015. Vol. 9. № 5. P. 54–56.
7. Antonov A. I., Ledenev V. I., Matveeva I. V., Shubin I. L. Raschyoty impulsnogo shuma pri proektirovaniy sredstv ego snizheniya v proizvodstvennykh zdaniyakh [Calculations of pulse noise in the design of means of reducing it in industrial buildings] / Stroitelstvo i rekonstruktsiya [Construction and reconstruction]. 2019. № 3 (83). P. 22–23.
8. Antonov A. I., Ledenev V. I., Matveeva I. V., Shubin I. L. Raschyoty shuma pri proektirovaniy шумозашchity v proizvodstvennykh zdaniyakh [Noise calculations in the design of noise protection in industrial buildings] / Moscow-Berlin : Direkt-Media, 2020. – 274 p.
9. Antonov A. I., Ledenev V. I., Matveeva I. V., Shubin I. L. Raschyoty shuma v grazhdanskikh i promyshlennykh zdaniyakh pri zerkalno-diffuznom otrazhenii zvuka ot ograzhdeniy [Noise calculations in civil and industrial buildings with mirror-diffuse reflection of sound from fences]. – Moscow : Direktmedia Publishing, 2022. – 192 p.
10. Ledenev V. I., Zhogoleva O. A., Porozhenko M. A., Aistov V. A. Issledovanie vliyaniya kharakteristik istochnikov impulsnogo shuma na raspredelenie zvukovoy energii v



pomeshcheniyakh [Investigation of the influence of characteristics of pulse noise sources on the distribution of sound energy in rooms] / *Ustoychivoe razvitie regiona: arkhitektura, stroitelstvo i transport* [Sustainable development of the region: architecture, construction and transport] : Materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Tambov: Chesnokova A. V., 2021. P. 216–218.

11. Antonov A. I., Zhogoleva O. A., Ledenev V. I., Matveeva I. V. Modelirovanie reverberatsionnykh protsessov v proizvodstvennykh pomeshcheniyakh s impulsnymi istochnikami zvuka [Modeling reverberation processes in industrial premises with pulsed sound sources] / *Privolzhskiy nauchny zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2022. № 3(63). P. 9–17.

12. Antonov A. I., Ledenev V. I., Matveeva I. V., Solomatin E. O. Metody otsenki prostranstvenno-vremennykh izmeneniy impulsnogo shuma pri proektirovanii shumozashchity v proizvodstvennykh zdaniyakh [Methods for estimating spatial-temporal changes of pulse noise at designing noise protection of industrial buildings] / *Privolzhskiy nauchny zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2021. № 4(60). P. 9–16.

13. Antonov A. I., Batsunova A. V., Shubin I. L. Usloviya, opredelyayushchie protsessy formirovaniya shumovogo rezhima v zamknutykh obyomakh, i ikh uchyot pri otsenke raspredeleniya zvukovoy energii v pomeshcheniyakh [The conditions defining processes of formation of the noise mode in closed spaces and their consideration at the assessment of sound energy distribution in rooms] / *Privolzhskiy nauchny zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2015. № 3(35). P. 89–96.

14. Antonov A. I., Ledenev V. I., Matveeva I. V., Fyodorova O. O. Vliyaniye kharaktera otrazheniya zvuka ot ograzhdeniy na vybor metoda raschyota vozdušnogo shuma v grazhdanskikh i promyshlennykh zdaniyakh [Influence of the mode of sound reflection from walls on selection of the method of air noise calculation in civil and industrial buildings] / *Privolzhskiy nauchny zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2017. № 2(42). P. 16–23.

15. Skuchik E. *Osnovy akustiki* [Fundamentals of acoustics]. Moscow: Izd. inostr. liter., 1958. Vol. 2, 55 p.

16. Antonov A. I., Ledenev V. I., Matveeva I. V., Porozhenko M. A. Raschyot nepostoyannogo shuma s ispolzovaniem funktsii otklika pomeshcheniya, opredelyaemoy po eksperimentalnym dannym [Calculation of non-constant noise using the room response function determined from experimental data] / *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering]. 2021. Vol. 23, № 6. P. 117–128. DOI 10.31675/1607-1859-2021-23-6-117-128.

17. Non-constant noise calculation using the room response function / A. Antonov, V. Ledenev, N. Merkusheva [et al.] // *Advances in Noise and Vibration Control Technology : Proceedings of 2020 International Congress on Noise Control Engineering, INTER-NOISE 2020* : 49, Seoul, 23–26 august 2020. – Seoul, 2020.

18. Shubin I. L., Antonov A. I., Matveeva I. V., Yarovaya T. S. Otsenka energeticheskikh parametrov rechi na osnove impulsnoy kharakteristiki pomeshcheniya [Assessment of the energy parameters of speech based on the impulse response of the room] // *Academia. Arkhitektura i stroitelstvo* [Academia. Architecture and construction]. 2023. № 1. P. 108–114. DOI 10.22337/2077-9038-2023-1-108-114.

19. Coupling Coefficient of Flux Density and Density Gradient of Reflected Sound Energy in Quasi-Diffuse Sound Fields / A. I. Antonov, V. I. Ledenev, T. O. Nevenchannaya [et al.] // *Journal of Theoretical and Computational Acoustics*. 2019. Vol. 27, №. 2. P. 1850053. DOI 10.1142/S2591728518500536.

© А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, И. Л. Шубин, 2024

Получено: 20.03.2024 г.