

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ОТРАЖЕНИЯ ЗВУКА ОТ ПОВЕРХНОСТЕЙ В КРУПНОГАБАРИТНЫХ ГАЗОВОЗДУШНЫХ КАНАЛАХ И ЕГО ВЛИЯНИЯ НА ТОЧНОСТЬ РАСЧЕТА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ШУМА В НИХ

RESEARCH OF NATURE OF THE SOUND REFLECTION FROM SURFACES IN LARGE-SIZED AIR-GAS CHANNELS AND ITS INFLUENCES ON ACCURACY OF CALCULATION OF NOISE DISTRIBUTION IN THEM

Е.О. Соломатин, О.А. Жоголева, (ФГБОУ ВПО ТГТУ)

E.O. Solomatin, O.A. Jegoleva, (FGBOU VPO TGTU)

Предлагается метод расчета уровней звукового давления в крупногабаритных газоздушных каналах. Метод позволяет учитывать характер отражения звука от стен канала и его влияние на точность расчетов. Для реализации метода разработана компьютерная программа.

В настоящее время в системах вентиляции гражданских и промышленных зданий широкое распространение имеют крупногабаритные каналы. При работе вентиляционного оборудования в каналах образуется высокие уровни шума. В случае недостаточной звукоизоляции стенок канала происходит значительное зашумление прилегающих к каналам объемов зданий. Для определения требуемой звукоизоляции каналов необходимо иметь сведения об уровнях звукового давления в каналах при работе в них излучающего звуковую энергию вентиляционного оборудования.

Уровень звукового давления в любой точке канала определяется прямой и отраженной составляющей звуковой энергии

$$L_i = 10 \lg [c(\varepsilon_{\text{пр}i} + \varepsilon_{\text{отр}i}) / I_0], \quad (1)$$

где I_0 – интенсивность звука на пороге слышимости; c – скорость звука; $\varepsilon_{\text{пр}i}$, $\varepsilon_{\text{отр}i}$ – соответственно, плотность прямой и отраженной звуковой энергии в i -ой расчетной точке помещения.

Расчет плотности прямой звуковой энергии $\varepsilon_{\text{пр}i}$ не представляет значительных трудностей. Распределение отраженной звуковой энергии определяется более сложными закономерностями. На него влияют объемно-планировочные параметры канала, характеристики звукопоглощения ограждений, и особенно, характер отражения звука от поверхностей.

Отражение звука от ограждений канала в общем случае определяется формой поверхности, структурой материала, углом падения и частотой звуковых волн и т.д. В выполненной работе [1] анализ закономерностей отражения звука от ограждений показывает, что характер отражения звука с достаточным приближением может быть описан смешанной моделью отражения, при которой часть звуковой энергии отражается зеркально, другая часть диффузно.

При таком характере отражения для оценки распределения звуковой энергии было предложено использовать комбинированный метод расчета [2]. Суть метода заключается в том, что распределение зеркально отраженной звуковой энергии определяется методом прослеживания звуковых лучей [3], а для оценки распределения диффузной отраженной энергии используется численный статистически энергетический метод [4].

Суммарная плотность отраженной звуковой энергии в любой точке канала определяется зеркально отраженной энергией лучей ε_{li} и диффузно отраженной энергией ε_{di}

$$\varepsilon_{ompi} = \varepsilon_{li} + \varepsilon_{di} \quad (2)$$

Суммарный уровень звукового давления определяется как:

$$L_i = 10 \lg [c(\varepsilon_{npi} + \varepsilon_{li} + \varepsilon_{di}) / I_0] \quad (3)$$

Методика решения задач комбинированным методом состоит из следующих основных операций:

- канал, для которого производится оценка шумового режима, разбивается на элементарные объемы в виде параллелепипедов со сторонами Δx , Δy , Δz и определяются узловые точки сетки. При этом каждому элементарному объему соответствует одна узловая точка сетки;

- для каждой точки определяется плотность энергии прямого звука;

- для каждой точки методом прослеживания лучей определяются величины энергии лучей, проходящих через элементарный объем, и вычисляются интенсивность и плотность лучевой энергии в элементарном объеме;

- для пограничных объемов находится величина диффузно отраженной энергии, вносимой в них лучами, падающими на ограждение в пределах элементарного объема;

- для всех внутренних и граничных объемов записываются уравнения балансов диффузной отраженной энергии. При записи уравнений баланса для объемов, прилегающих к границам, используются граничные условия;

- аппроксимируются путем выражения через значения сеточной функции члены, входящие в уравнение баланса диффузной отраженной энергии; при этом аппроксимационные выражения для потоков должны удовлетворять условиям согласования. Поскольку число элементарных объемов равно числу узлов пространственного разбиения, получается полная система алгебраических уравнений. Реализация системы позволяет получить разностное решение;

- после решения системы находится суммарная плотность энергии, равная сумме плотностей прямой, лучевой и диффузной отраженной энергий.

Достоинством комбинированного метода является возможность его применения для расчетов уровней звукового давления в каналах простой и сложной формы и возможность в полной мере учитывать

звукопоглощающие характеристики ограждений. В настоящее время нами разработана компьютерная программа, обеспечивающая выполнение расчетов уровней звукового давления в помещениях любой сложной формы, в том числе и каналах. Программа дает возможность моделировать любой характер отражения звука.

При идеальной зеркальной модели отражения расчет уровней звукового давления в программе выполняется методом прослеживания лучей. При диффузной модели отражения расчеты производятся численным статистическим энергетическим методом. В случае использования смешанной модели отражения зеркально отражаемая часть энергии описывается методом прослеживания лучей. При этом учитывается, что в процессе отражения часть зеркально направленной энергии переходит в диффузно отраженную энергию, расчет которой выполняется численным статистическим энергетическим методом.

Прослеживание лучей в программе производится до тех пор, пока их энергия за счет поглощения на ограждениях и оборудовании, перехода зеркальной части энергии в диффузную и поглощения в воздушной среде не уменьшится в 10^6 раз.

Достаточно неопределенным моментом при использовании смешанной модели отражения является установление степени распределения отраженной энергии между зеркальной и диффузной составляющими. Для выявления соотношения этих величин произведена серия расчетов для реального канала.

В комбинированной модели при оценке зеркальной отраженной составляющей использован метод прослеживания звуковых лучей, при котором рассматриваются лучи, имеющие пространственно малые углы распространения.

Потери энергии луча происходят за счет поглощения на ограждениях канала и в воздухе, а также за счет перехода части энергии луча при его отражении в диффузную энергию. Энергия каждого луча после его прохождения на расстояние R_i от места излучения составляет

$$W_{.i} = \frac{P}{N} \exp(-m_g R_i) \prod_{p=1}^n \rho_p \xi^n, \quad (4)$$

где P – звуковая мощность источника; N – количество лучей, исходящих из источника; $\rho_p = 1 - \alpha_p$; α_p – коэффициент звукопоглощения p -й поверхности ограждения, на которую падал прослеживаемый луч; n – количество актов падения луча на p -е поверхности в процессе распространения его на расстояние R_i до i -го элементарного объема; ξ – доля энергии, направляемая по лучу после его отражения от поверхности ограждения; m_B – коэффициент поглощения звука в воздухе.

Количество энергии в определенном объеме канала равна сумме энергий лучей m , прошедших через него, и ее плотность определяется как

$$\varepsilon_{.i} = \sum_{a=1}^m W_{.i} / cF, \quad (5)$$

где F – приведенная площадь сечения элементарного объема. В расчетной модели для объемов в виде параллелепипедов в качестве такой площади принята площадь поперечного сечения сферы, равной по объему параллелепипеду.

Оценка распределения диффузно отраженной энергии производится методом энергетических балансов. Суть метода как сказано выше заключается в разбиении объема помещения на ряд геометрических форм, в пределах которых характер изменения плотности отраженной энергии с известной степенью точности может быть принят линейным, и составлении уравнения баланса отраженной энергии для каждого элементарного объема. Распределение отраженной энергии получается из решения системы уравнений. В случае газовоздушного канала объем канала делится на элементарные объемы только поперечными сечениями (см. рисунок 1).

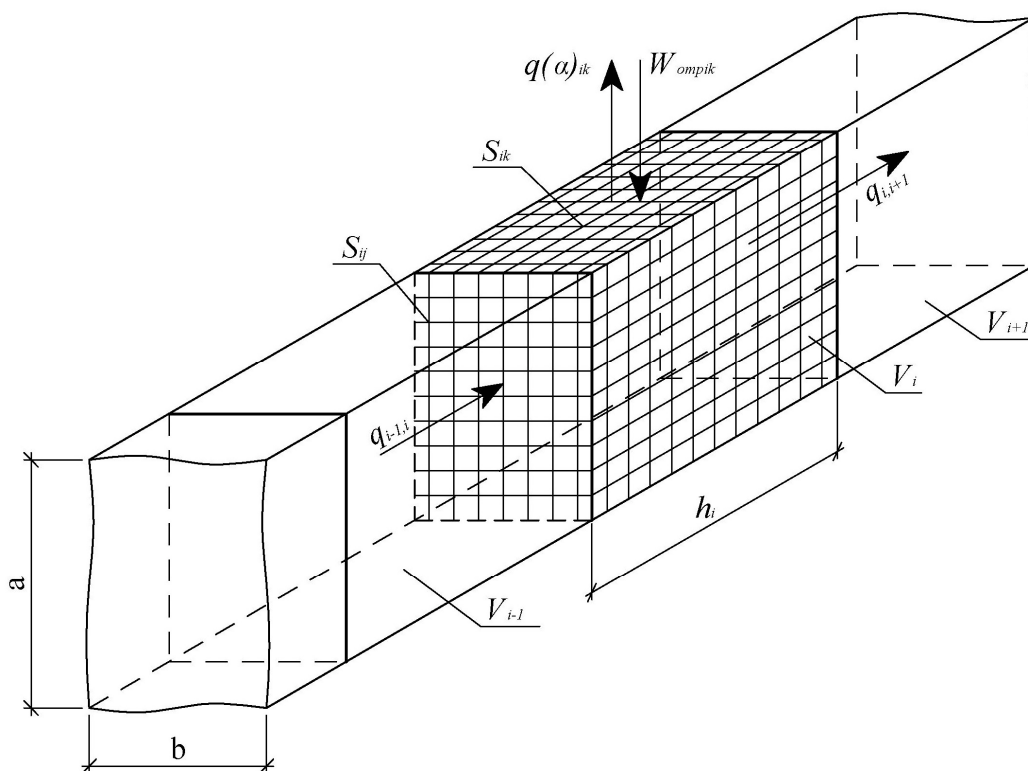


Рисунок 1 Схема разбиения канала на элементарные объемы

Для каждого i -го элементарного объема канала баланс отраженной энергии с учетом поглощения звука в воздухе может быть записан в общем виде как

$$(q_{i-1,i} - q_{i,i+1})S_{ij} + \sum_{k=1}^{6-M} W_{ompi k} - \sum_{k=1}^{6-M} q(\alpha)_{ik} S_{ik} - cm_g \varepsilon_{oi} V_i = 0, \quad (6)$$

где $(q_{i-1,i} - q_{i,i+1})$ – разность потоков энергии, входящих в i -й объем и выходящих из него по поперечному сечению $S_i = a \cdot b$; $q(w)_{ik}$ и $q(\alpha)_{ik}$ – потоки звуковой энергии, соответственно, вводимой в i -й объем после первых отражений прямого звука, и поглощаемой на k -ой поверхности i -го объема, являющейся поверхностью ограждения канала с площадью S_{ik} ; M – количество объемов, контактирующих с i -м объемом; $6-M$ –

количество граней i -го объема, являющихся поверхностями канала; V_i - объем i -го элементарного параллелепипеда; ε_i – плотность отраженной звуковой энергии в i -м объеме; $W_{\text{омпик}}$ – диффузная энергия, приходящая в i -й объем после отражения луча от k -ой поверхности и перехода части энергии луча в диффузную энергию.

Потоки энергии $q_{i-1,i}$ и $q_{i,i+1}$ определяются как

$$q_{i-1,i} = \eta(\varepsilon_{\text{д},i-1} - \varepsilon_{\text{д}i})/h_i; \quad q_{i,i+1} = \eta(\varepsilon_{\text{д}i} - \varepsilon_{\text{д},i+1})/h_{ij}, \quad (7)$$

Величины потоков $q(w)_{ik}$ и $q(\alpha)_{ik}$ определяются по формуле

$$q(\alpha)_{ik} = \frac{\alpha_{ki} \cdot c \varepsilon_i}{2(2 - \alpha_{ki})}, \quad (8)$$

где α_{ki} – коэффициент k -ой поверхности i -го объема.

Описанная комбинированная модель использована для установления степени распределения отраженной звуковой энергии между зеркальной и диффузной составляющими на примере канала с бетонными стенами.

Исследования произведены в канале поперечные размеры которого составляют, длина канала 36,5 м, высота - 1,8м, ширина – 1,6м. Схема канала представлена на рисунке 2.

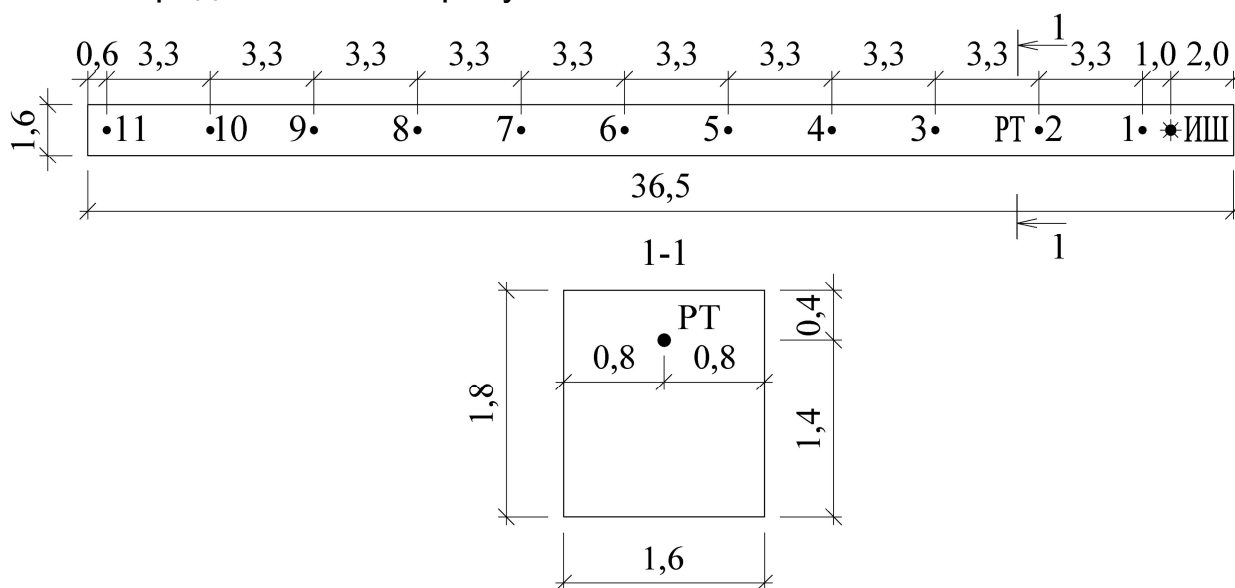


Рисунок 2 Схема канала системы вентиляции здания Тамбовской областной библиотеки им. А.С. Пушкина с расположением источника шума и точек измерения

При эксперименте в качестве источника шума использовался всенаправленный источник звука (додекаэдр) OED-SP-012-600. Измерение уровней звукового давления производилось шумомером ОКТАВА-101АМ.

Результаты экспериментальных исследований приведены на рисунке 3.

Для указанных на рисунке 3 октавных полос со среднегеометрическими частотами 500Гц, 1000Гц, 2000Гц, 4000Гц выполнены расчеты уровней комбинированным методом, а также методом прослеживания лучей при диффузной и зеркальной моделях

отражения звука и численным методом при диффузной модели отражения. В качестве примера на рисунке 4 приведены результаты расчета и эксперимента для октавной полосы со среднегеометрической частотой 1000Гц. Видно, что наиболее близкие результаты к экспериментальным получены комбинированным методом при характере отражения звука когда 20 - 30% энергии отражается диффузно, а остальная часть зеркально. Аналогичные данные получены для остальных октавных полос частот.

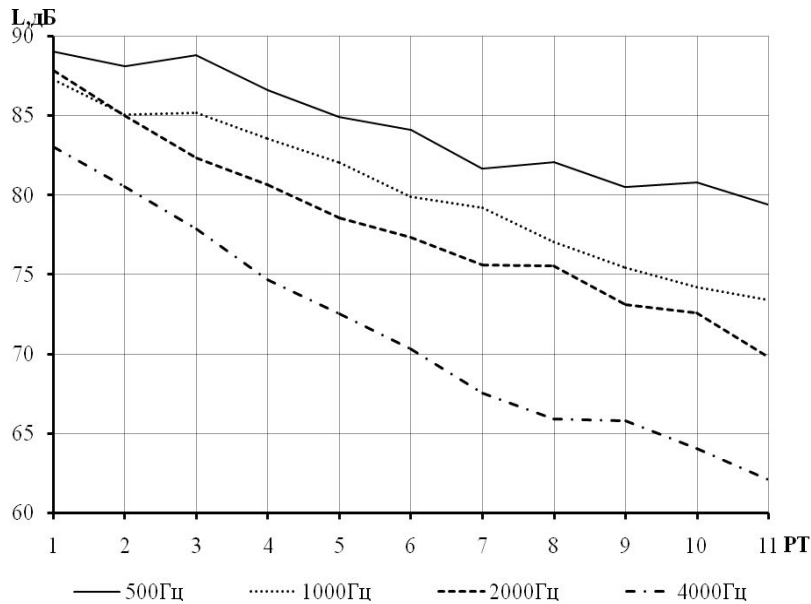


Рисунок 3 Результаты экспериментальных исследований распространения звуковой энергии в крупногабаритном канале

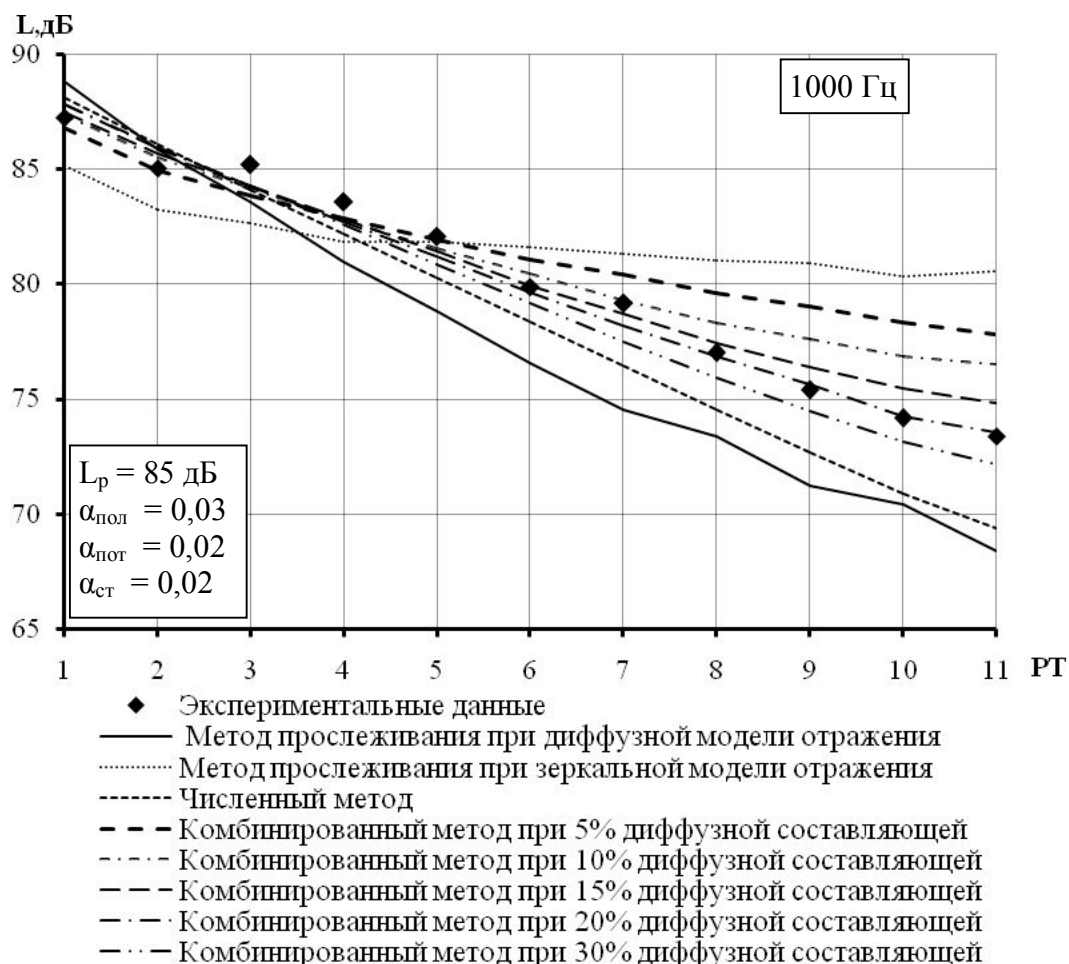


Рисунок 4 Экспериментальные и расчетные уровни звукового давления в канале

Таким образом, выполненные нами исследования показывают, что на распределение звуковой энергии в каналах существенно влияет характер отражения звука. Установлено, что в каналах отражение звука происходит по смешанной схеме. Достоверность расчетов уровней звукового давления при такой схеме зависит от точности установления процентного соотношения между зеркальной и диффузной составляющими. Установление такого соотношения возможно на основе проведения серии целенаправленных исследований в каналах с различными характеристиками поверхностей. Такие исследования производят в настоящее время в рамках научных программ НОЦ «ТГТУ-НИИСФ РААСН».

Литература:

1. Матвеева И.В., Леденев В.И., Соломатин Е.О. Учет характера отражения звука от поверхностей ограждений производственных помещений ТЭЦ в методах расчета в них уровней шума // Энергосбережение и экология в строительстве и ЖКХ, транспортная и промышленная экология. Материалы международной научно-практической конференции Москва-

Будва 2010. Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, М., 2010.С. 259-262.

2. Гусев В.П., Леденев В.И., Солодова М.А., Соломатин Е.О. Комбинированный метод расчета уровней шума в крупногабаритных газоздушных каналах // Научно-технический журнал Вестник МГСУ. – Москва. – 2011. – №3. – Т.1. С.33-38
3. Schroeder M. R. Computer models for concert hall acoustics // Amer. J. Phys. 1973. vol. 41. P. 461 – 471.
4. Леденев В.И. Статистические энергетические методы расчета шумовых полей при проектировании производственных зданий. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. 156 с.

Ключевые слова: крупногабаритные газоздушные каналы, комбинированный метод расчета, статистические энергетические методы расчетов, шум, уровни звукового давления.