

УДК 628.517.2

**А. И. АНТОНОВ**, д-р техн. наук, вед. науч. сотр.<sup>2</sup>; **О. А. ЖОГОЛЕВА**, канд. техн. наук, доц. кафедры городского строительства и автомобильных дорог<sup>1</sup>, науч. сотр.<sup>2</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**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц. кафедры городского строительства и автомобильных дорог

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ШУМОВОГО РЕЖИМА В ПОМЕЩЕНИЯХ С ПЕРЕГОРОДКАМИ НЕПОЛНОЙ ВЫСОТЫ

<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:* шумовой режим, компьютерное моделирование шума, зеркально-диффузная расчетная модель, перегородки неполной высоты.

---

*Предлагается комбинированная зеркально-диффузная расчетная модель для оценки шумового режима в помещениях с перегородками неполной высоты. Показаны возможности ее использования при компьютерном моделировании распределения звуковой энергии в помещениях при различных параметрах помещений и перегородок. Расчетная модель и ее компьютерная реализация дают возможность производить целенаправленное проектирование перегородок и выгородок неполной высоты для создания необходимых акустических условий в помещениях общественного и производственного назначения.*

---

### Введение

В производственных и общественных зданиях различного назначения широкое распространение имеют перегородки неполной высоты. В производственных зданиях они могут быть в виде замкнутых выгородок, в которых размещаются источники шума с высокими уровнями звуковой мощности [1]. Выгородки также устраиваются с целью создания «тихих» зон в помещениях с шумным оборудованием. Перегородки неполной высоты используются для разделения общей площади производственных помещений на отдельные участки с разными по шумности технологическими процессами. В зданиях общественного назначения перегородки предназначены для разделения общего пространства помещения на отдельные объемы, в пределах которых выполняются определенные функциональные процессы. Наличие таких перегородок, например, в клиентских залах банков, обеспечивает конфиденциальность общения клиентов и операторов, повышает слышимость и разборчивость речи, снижает уровни проникающего в выделенные объемы шума от источника звука, находящиеся в общем пространстве помещения [2].

При проектировании помещений с перегородками неполной высоты необходимо производить расчеты шумового режима на рабочих местах, размещаемых в пределах пространства между перегородками. Так как процесс формирования шумового режима является многофакторным процессом, при выборе оптимального решения перегородок требуется выполнять большое количество повторных расчетов при различных вариантах размещения перегородок, различных соотношениях высоты помещений и перегородок, различных коэффициентах звукопоглощения ограждений помещений и перегородок. В этом случае при решении поставленных задач необходимо иметь методы расчета шумовых полей, удовлетворяющие большому количеству требований [3].

В данном случае методы должны: обеспечивать выполнение расчетов уровней звукового давления с учетом максимального количества факторов, влияющих на формирование шумовых полей в помещениях с перегородками; обеспечивать возможность выполнения расчетов шума в помещениях различных пропорций с простой и сложной формой планов и объемов при наличии в них перегородок; обладать требуемой точностью при решении задач любой сложности; обеспечивать быстрое построение шумовых карт помещений при многофакторном анализе условий формирования шумовых полей и при выполнении многовариантного проектирования перегородок. Для выполнения указанных требований методы должны быть машинно-ориентированными, то есть легко алгоритмизироваться с целью создания эффективных компьютерных моделей звуковых полей помещений. В статье представлена такая модель, оценена ее точность и показаны возможности использования модели при проектировании в помещениях перегородок неполной высоты.

#### **Компьютерная модель звуковых полей в помещениях с перегородками неполной высоты**

При устройстве перегородок неполной высоты в помещении образуются участки с различными условиями формирования звуковых полей. На участках с источниками шума создаются поля прямого и отраженного звука. На соседних с ними участках формируются поле дифрагируемого через верх перегородок звука и отраженное звуковое поле. На удаленных от источника звука участках звуковое поле создается только отраженным звуком. Для оценки шумового режима при указанных выше условиях необходимо иметь комбинированную расчетную модель, позволяющую производить расчеты прямого, дифрагированного и отраженного звука.

Расчеты прямого звука, как правило, не представляют сложности. Для точечных источников звука с равномерным излучением звука в окружающее пространство расчет производится по простым аналитическим формулам [3]. В случае сложной формы источников и с неравномерным излучением ими звуковой энергии в окружающее пространство при расчетах прямого звука используется метод прослеживания лучей.

Для расчета дифрагированной за перегородки энергии прямого звука наиболее приемлемым является метод Маекавы [4, 5].

Более сложные расчетные методы применяются при определении отраженной звуковой энергии. Методы должны учитывать различные условия, влияющие на процессы формирования отраженной звуковой энергии в



помещениях [6]. При этом они должны также отвечать всем другим перечисленным выше требованиям.

Одним из наиболее важных факторов, влияющих на распределение отраженной звуковой энергии в помещениях, является характер отражения звука от ограждений [7]. Он в основном и влияет на выбор расчетного метода. Как показано в монографии [8], отражение звука от ограждений в большинстве случаев имеет смешанный зеркально-диффузный характер, при котором в помещениях образуются отраженные звуковые поля, содержащие в своем составе зеркальную и диффузную составляющие отраженной звуковой энергии.

При зеркально-диффузном отражении звука на разных участках помещений, выделенных перегородками неполной высоты, уровни звукового давления определяются следующими составляющими:

- на участке с источником шума:

$$L_i = 10 \lg [c(\varepsilon_i^{\text{пр}} + \varepsilon_i^3 + \varepsilon_i^{\text{д}}) / I_0], \quad (1)$$

- на соседних с источником шума участках:

$$L_i = 10 \lg [c(\varepsilon_i^{\text{дф}} + \varepsilon_i^3 + \varepsilon_i^{\text{д}}) / I_0], \quad (2)$$

- на участках, удаленных от источника шума:

$$L_i = 10 \lg [c(\varepsilon_i^3 + \varepsilon_i^{\text{д}}) / I_0]. \quad (3)$$

В формулах (1) – (3):  $\varepsilon_i^{\text{пр}}$ ,  $\varepsilon_i^3$ ,  $\varepsilon_i^{\text{д}}$ ,  $\varepsilon_i^{\text{дф}}$  – плотности звуковой энергии в  $i$ -ой расчетной точке, соответственно, от прямого звука, зеркальной и диффузно рассеянной составляющих отраженного звука, дифрагированного за перегородку звука;  $I_0$  – пороговая интенсивность звука;  $c$  – скорость звука в воздухе.

Как видно из выражений (1) – (3), во всех случаях при расчетах уровней звукового давления необходимо определять зеркальную и диффузную составляющие отраженной звуковой энергии. Так как процессы формирования и распространения зеркальной и диффузной составляющих отраженной энергии существенно различаются между собой, расчеты должны производиться с использованием комбинированных расчетных моделей, включающих в себя два расчетных метода. Выбор методов, входящих в расчетную модель, подробно рассмотрен в книге [8]. Показано, что на выбор существенное влияние оказывает объемно-планировочное решение помещения. В случае сложных форм помещений комбинированная расчетная модель должна включать в себя методы определения зеркальной и диффузной составляющих отраженной энергии, позволяющие учитывать форму помещения и обеспечивать быстрое действие получения энергетических параметров шумовых полей. Указанным условиям отвечает расчетная модель, включающая метод прослеживания лучей для определения зеркальной составляющей и численный статистический энергетический метод определения диффузной составляющей. Подробно расчетная модель рассмотрена в статьях [9, 10] и в книге [8]. Возможность ее использования для оценки шумового режима в помещениях с перегородками неполной высоты показана в статье [11].

Исходя из того, что для расчета диффузно рассеянной составляющей отраженной энергии в расчетной модели используется численный статистический энергетический метод, весь объем помещения перед расчетом делится на элементарные объемы с учетом размеров перегородок и их положения в общем

пространстве помещения. При этом положение расчетных точек может приниматься в центре каждого элементарного объема.

Так как прямой звук и зеркальная составляющая отраженного звука являются источниками для образования диффузно рассеянной энергии, расчет энергетических характеристик отраженного звука начинается с определения прямого звука и зеркальной составляющей. Алгоритм их расчетов подробно рассмотрен в книге [8].

В результате этих расчетов производится определение зеркальной составляющей отраженного шума в заданных расчетных точках и находится распределение на поверхностях ограждений помещения и перегородок интенсивности диффузно рассеянной энергии, определяющей ввод диффузной энергии с поверхности каждого элементарного граничного объема в общий объем помещения.

Алгоритм расчета диффузной составляющей отраженного шума в помещениях с перегородками подробно рассмотрен в статье [11].

Для реализации предложенной расчетной модели разработана компьютерная программа. При разработке программы реализован принцип модульного программирования [12, 13]. Его основные положения представлены в [14]. Ниже рассмотрена возможность использования программы для проектирования перегородок неполной высоты и оценки их акустической эффективности.

#### **Пример компьютерного моделирования шумового режима в помещениях с перегородками неполной высоты**

В примере выполнен сравнительный анализ результатов компьютерного моделирования энергетических характеристик шума с экспериментальными данными, полученными в помещении с перегородками неполной высоты, а также показаны возможности использования компьютерной программы при проектировании перегородок с учетом объемно-планировочных и акустических характеристик помещений.

Экспериментальные исследования шума выполнены в административном помещении учебного заведения. Помещение размерами 11,32×8,42×4,6 (h) разделено перегородками неполной высоты на четыре участка. Высота перегородок 2,5 м. Схема помещения с указанием расположения источника шума и точек измерения приведена на рис. 1. Измерения выполнялись между перегородками на высоте 1,5 м от пола (точки T<sub>1</sub> – T<sub>9</sub>) и в пространстве над перегородками на высоте 3,75 м (точки B<sub>1</sub> – B<sub>9</sub>). В качестве источника шума использовался всенаправленный источник звука (додекаэдр) OED-SP-012-600. Измерения уровней звукового давления производились шумомером ЭКОФИЗИКА-110А.

Покрытие пола в помещении выполнено из линолеума, стены окрашены водэмульсионной краской, потолок облицован плитами типа «Акмигран». В помещении имеется офисная мебель, оргтехника, шкафы и сейфы.

Ниже приведены результаты сравнительного анализа расчетных и экспериментальных данных, полученных в октавной полосе частот с  $f_{cp}=2000$  Гц. Средний коэффициент звукопоглощения помещения в этой полосе частот равен  $\bar{\alpha}=0,18$ . Коэффициент звукопоглощения потолка соответствует  $\alpha_{пт}=0,60$ . Средний коэффициент звукопоглощения остальных ограждений равен  $\alpha=0,10$ . Мощность источника при измерениях в октавной полосе частот с  $f_{cp}=2000$  Гц была равна 94,0 дБ. Расчет выполнялся при условии, что в помещении отражение

звука от ограждений имеет зеркально-диффузный характер с коэффициентом рассеяния, равным  $\beta=0,10$ . Средняя длина свободного пробега звуковых лучей в помещении с учетом площади поверхностей перегородок составляет  $l_{cp}=3,10$  м.

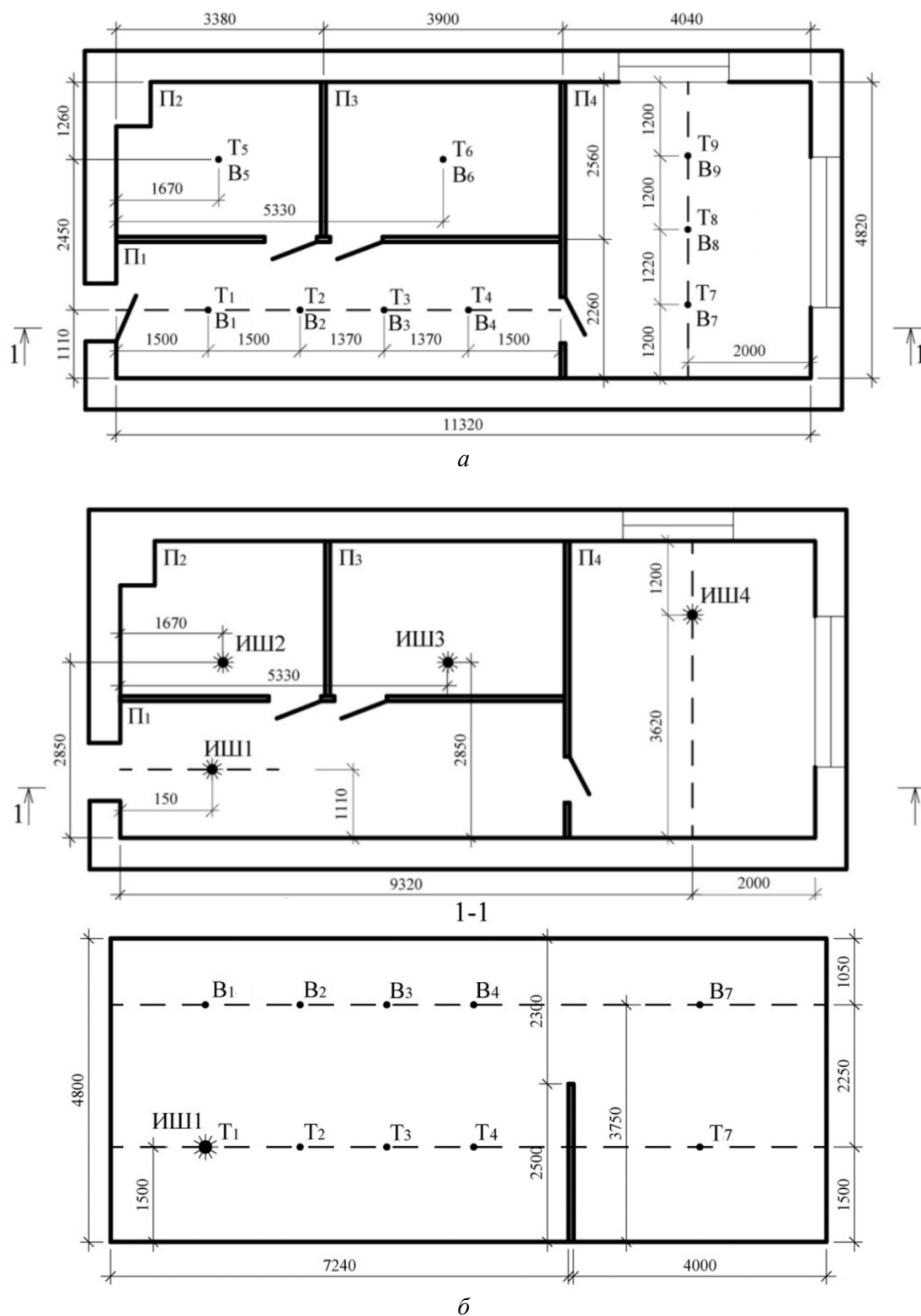


Рис. 1. Схема офисного помещения с указанием положения перегородок, *a* – расчетных точек и *б* – положения источника шума



Результаты расчетов и экспериментов при четырех положениях источника шума приведены в табл. 1.

Как видно из данных табл. 1, расхождения измеренных и расчетных данных не превышают  $\pm 2,0$  дБ. Предложенная компьютерная модель адекватно реагирует на положение источника шума и расположение точек измерения в пространстве помещения.

Наличие компьютерной модели дает возможность выполнять проектирование перегородок неполной высоты и анализ распределения шума в помещениях с учетом акустических и планировочных параметров перегородок.

Компьютерная программа позволяет производить расчеты и строить карты уровня звукового давления отдельно для прямого, дифрагированного и отраженного звука, а также общую карту уровней, создаваемых прямым, дифрагированным и отраженным звуком. В качестве примера на рис. 1–4 цв. вклейки приведены подобные карты для случая расположения источника шума в точке ИШ1 (см. рис. 1б).

Таблица 1

**Экспериментальные и расчетные уровни звукового давления в расчетных точках помещения при различных положениях источника шума**

| Номера точек     | Уровни звукового давления, дБ, при положениях источника шума в точках |         |        |         |        |         |        |         |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
|                  | ИШ1                                                                   |         | ИШ2    |         | ИШ3    |         | ИШ4    |         |
|                  | Лизмер                                                                | Лрасчет | Лизмер | Лрасчет | Лизмер | Лрасчет | Лизмер | Лрасчет |
| На уровне 1,5 м  |                                                                       |         |        |         |        |         |        |         |
| T1               |                                                                       | 91,6    | 80,69  | 79,4    | 78,27  | 78,1    | 75,29  | 76,3    |
| T2               | 86,61                                                                 | 86,1    | 81,15  | 79,3    | 79,15  | 78,4    | 76,22  | 76,9    |
| T3               | 83,95                                                                 | 84,4    | 79,47  | 78,6    | 78,28  | 78,7    | 77,59  | 77,6    |
| T4               | 84,29                                                                 | 83,6    | 78,88  | 78,1    | 78,23  | 78,2    | 77,45  | 78,0    |
| T5               | 81,04                                                                 | 79,4    | 89,78  | 88,9    | 78,26  | 78,1    | 75,27  | 76,1    |
| T6               | 78,31                                                                 | 77,8    | 79,76  | 78,6    | 88,21  | 88,6    | 77,10  | 77,9    |
| T7               | 76,05                                                                 | 76,9    | 73,94  | 75,5    | 76,74  | 78,3    | 82,24  | 84,8    |
| T8               | 76,40                                                                 | 76,9    | 74,73  | 75,7    | 76,82  | 78,4    | 84,65  | 86,3    |
| T9               | 76,16                                                                 | 76,9    | 74,28  | 76,0    | 77,61  | 78,2    |        | 91,4    |
| На уровне 3,75 м |                                                                       |         |        |         |        |         |        |         |
| B1               |                                                                       | 86,1    | 82,65  | 81,8    | 80,84  | 79,4    | 76,59  | 77,5    |
| B2               | 82,74                                                                 | 83,8    | 81,81  | 81,2    | 81,76  | 80,1    | 78,35  | 78,2    |
| B3               | 82,07                                                                 | 82,8    | 81,41  | 80,2    | 81,73  | 80,3    | 78,27  | 79,4    |
| B4               | 81,66                                                                 | 81,3    | 79,45  | 79,5    | 81,15  | 80,7    | 79,23  | 80,0    |
| B5               | 81,85                                                                 | 81,5    | 84,12  | 84,8    | 81,64  | 81,0    | 76,46  | 76,8    |
| B6               | 80,76                                                                 | 79,9    | 81,00  | 80,2    | 82,21  | 84,0    | 78,38  | 79,6    |
| B7               | 79,10                                                                 | 79,2    | 76,41  | 76,6    | 79,05  | 78,8    | 81,57  | 83,4    |
| B8               | 77,75                                                                 | 79,1    | 76,54  | 76,7    | 78,69  | 79,4    | 82,61  | 84,1    |
| B9               | 78,20                                                                 | 78,5    | 75,18  | 76,8    | 78,88  | 79,8    |        | 85,8    |

Результаты расчетов, представленных на картах (рис. 1 и 2 цв. вклейки), показывают, что отраженный шум существенно превышает дифрагированную составляющую звука, приходящую на соседние с источником звука участка помещения. Данное обстоятельство указывает на необходимость снижения, в первую очередь, отраженной составляющей шума.

Программа дает возможность выполнять сравнительный анализ различных карт шума между собой. На рис. 5 цв. вклейки приведено сравнение уровней

**К СТАТЬЕ А. И. АНТОНОВА, О. А. ЖОГОЛЕВОЙ, В. И. ЛЕДЕНЕВА,  
И. В. МАТВЕЕВОЙ «КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ШУМОВОГО  
РЕЖИМА В ПОМЕЩЕНИЯХ С ПЕРЕГОРОДКАМИ НЕПОЛНОЙ ВЫСОТЫ»**

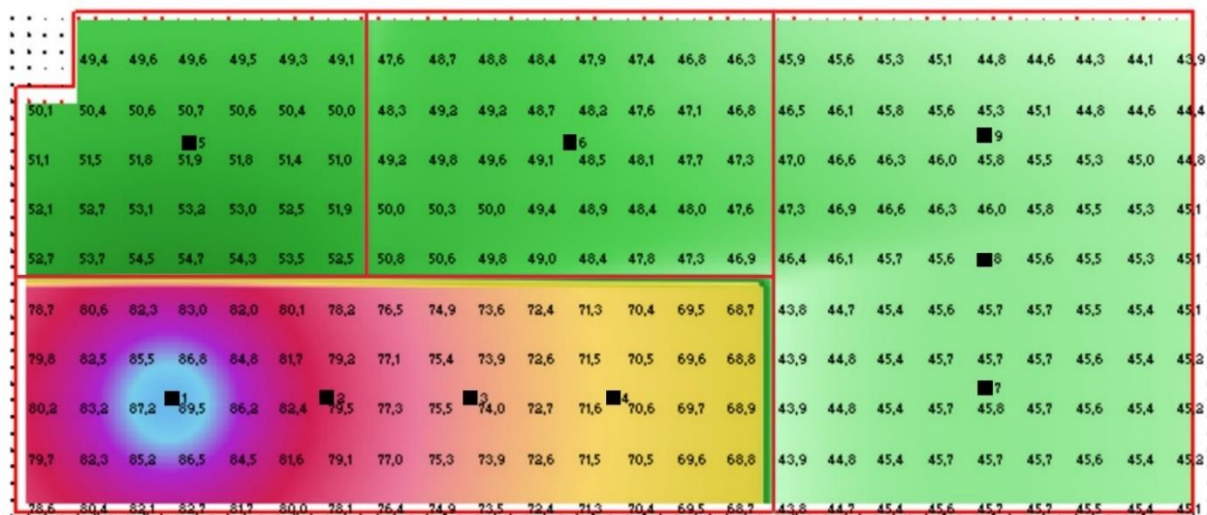


Рис. 1. Карта прямого и дифрагированного звука в помещении с перегородкой на высоте 1,5 м от пола

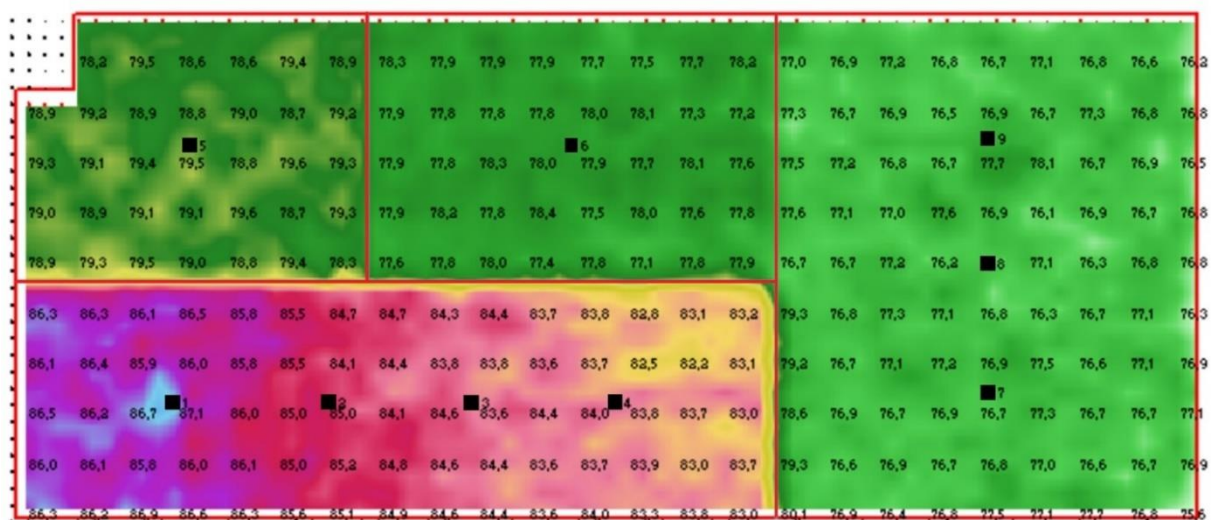


Рис. 2. Карта отраженного звука в помещении с перегородками на высоте 1,5 м от пола

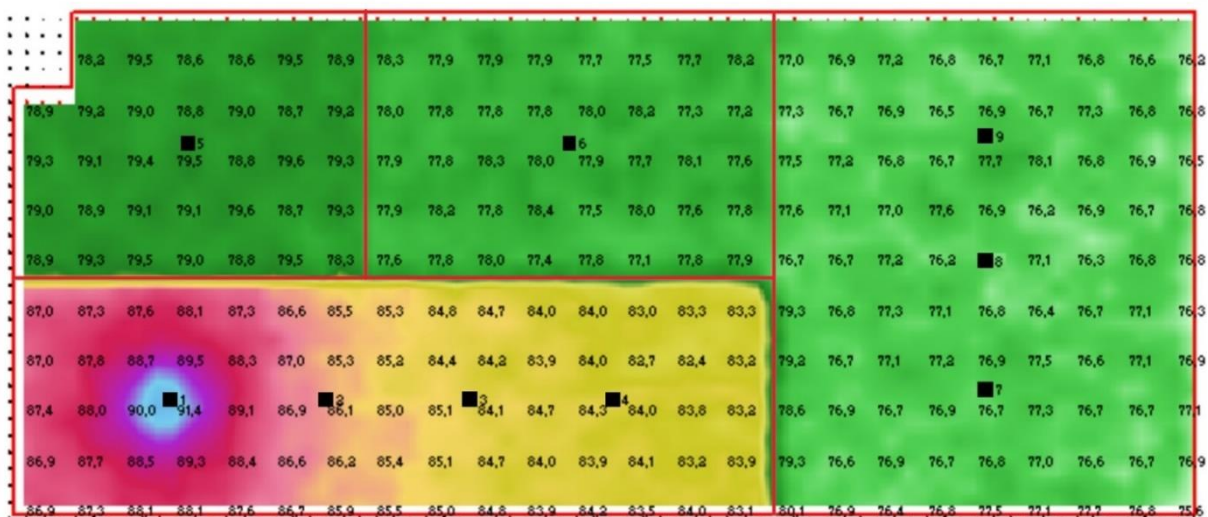


Рис. 3. Общая карта уровней звукового давления в помещении с перегородками на высоте 1,5 м от пола

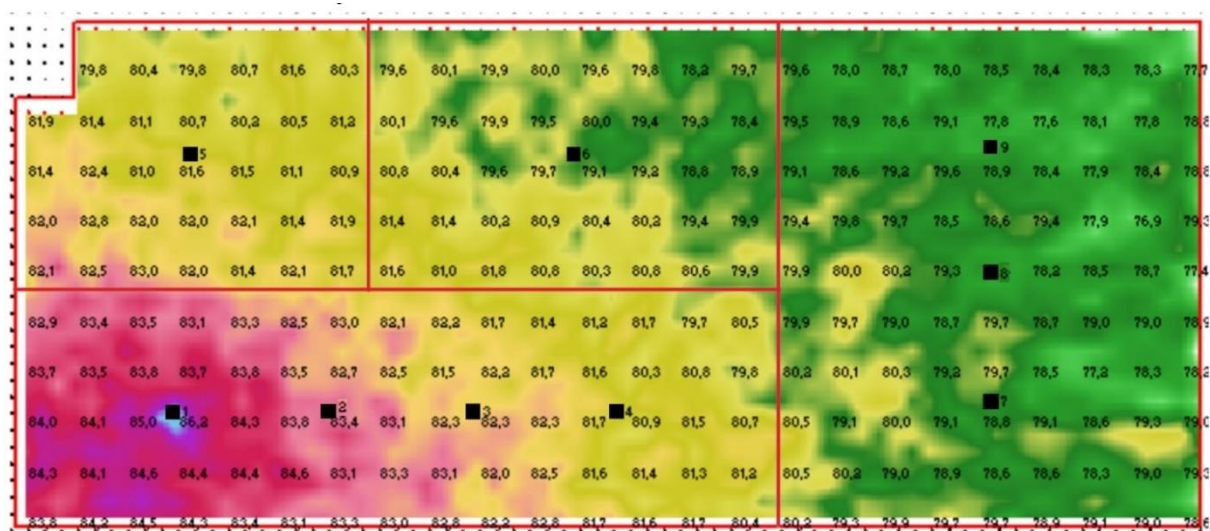


Рис. 4. Общая карта уровней звукового давления в помещении с перегородками на высоте 3,75 м от пола

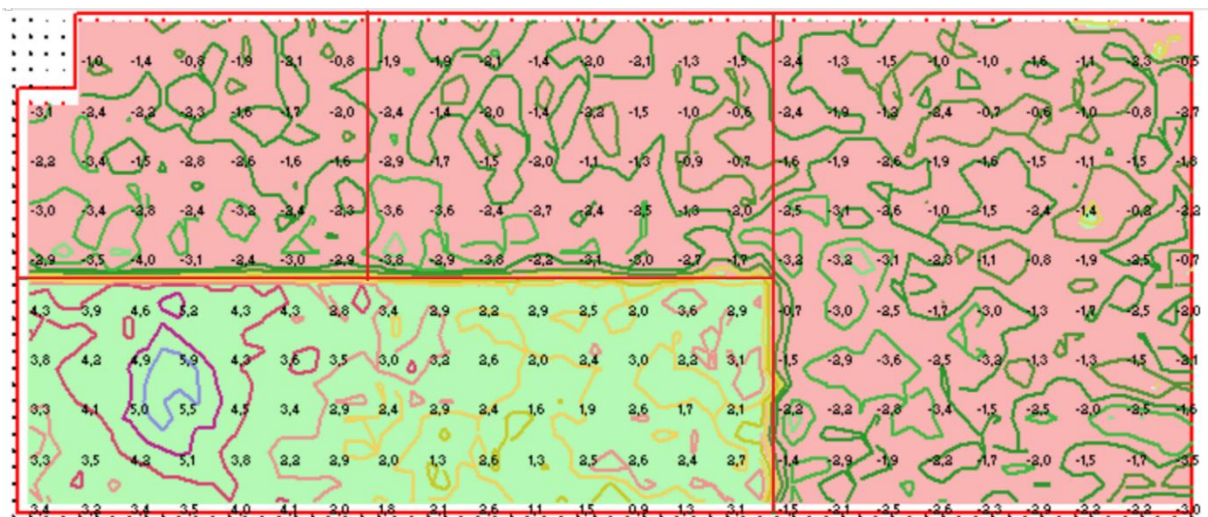


Рис. 5. Изменение уровней звукового давления на высоте 3,75 м относительно уровней, определенных на высоте 1,5 м от пола  
(зеленый цвет – снижение уровня, розовый цвет – превышение уровня)

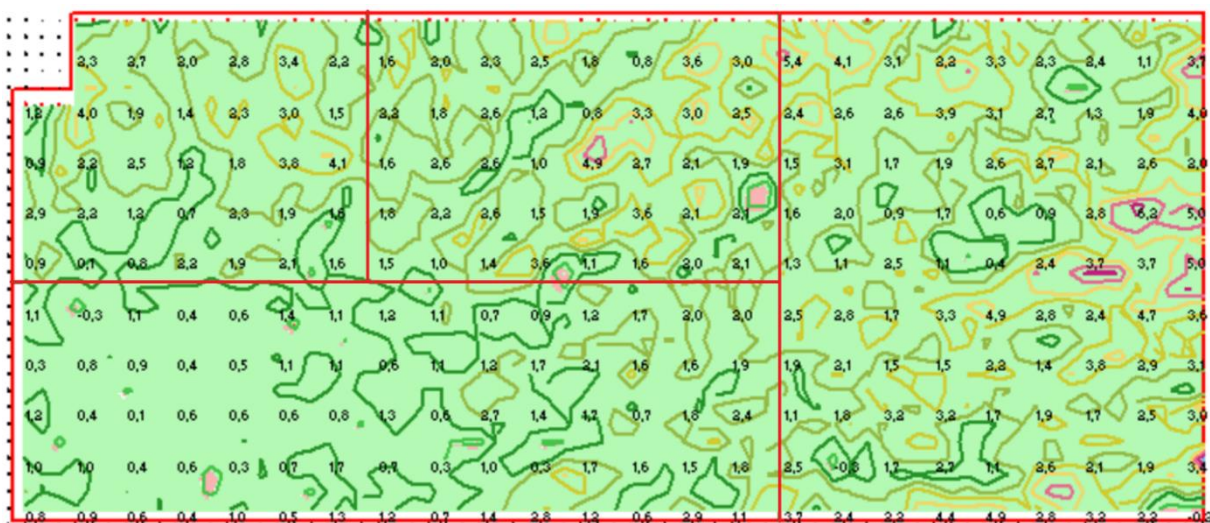


Рис. 6. Изменение уровней звукового давления на высоте 1,5 м от пола при изменении коэффициента звукопоглощения потолка от  $\alpha_{пт}=0,60$  до  $\alpha_{пт}=0,90$

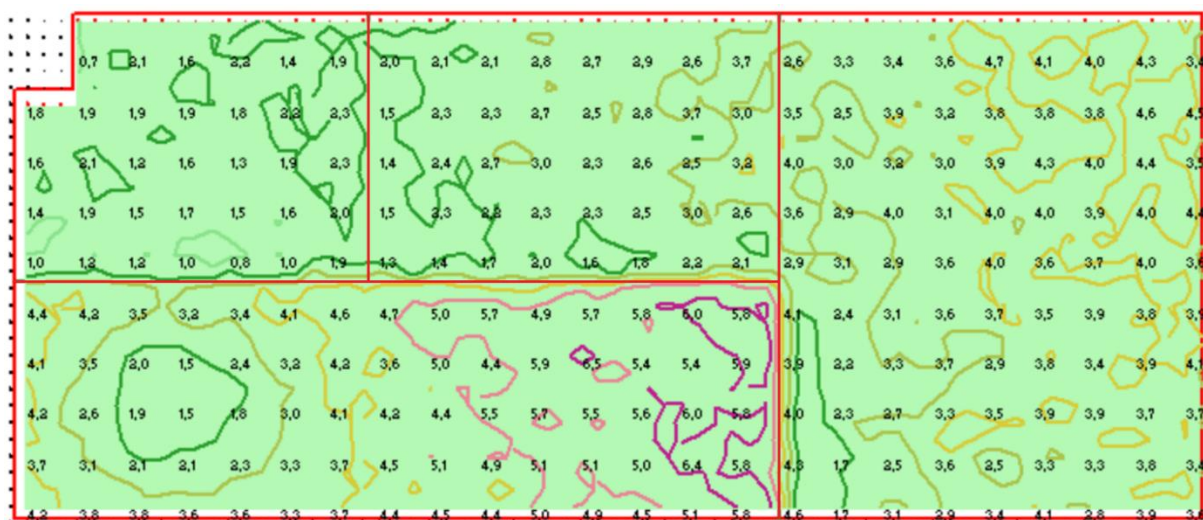


Рис. 7. Изменение уровней звукового давления в помещении с перегородками на высоте 1,5 м от пола при снижении высоты помещения от 4,8 м до 3,3 м при коэффициенте звукопоглощения потолка  $\alpha_{пт}=0,60$

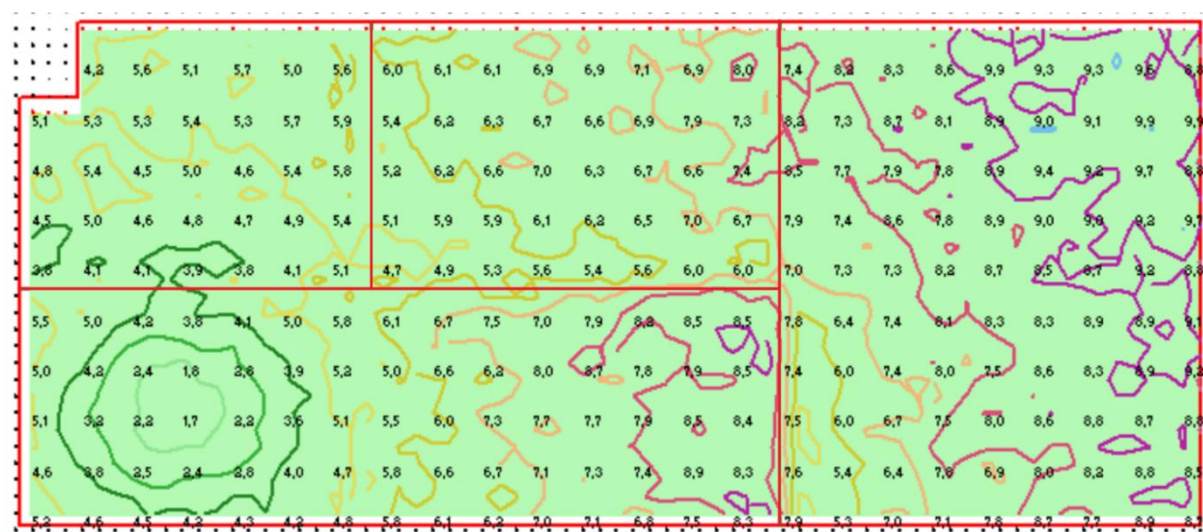


Рис. 8. Изменение уровней звукового давления в помещении с перегородками на высоте 1,5 м от пола при снижении высоты помещения от 4,8 м до 3,3 м при одновременном повышении коэффициента звукопоглощения потолка от  $\alpha_{пт}=0,60$  до  $\alpha_{пт}=0,90$



звукового давления в помещении, представленных на картах рис. 3 и 4 цв. вклейки. Из сравнения видно, что в верхней зоне помещения над перегородками распределение звуковой энергии существенно отличается от его распределения в зоне между перегородками. По этой причине необходимо выполнять снижение шума в верхней зоне помещения, например, путем устройства звукопоглощающих облицовок или кулис [15].

В процессе проектирования перегородок программа позволяет оценить влияние акустических характеристик ограждений на шумовой режим помещения. На рис. 6 цв. вклейки приведен пример изменения уровней при увеличении коэффициента звукопоглощения потолка с  $\alpha_{\text{пт}}=0,60$  до  $\alpha_{\text{пт}}=0,90$ . Видно, что изменения зависят от положения выгораживаемых участков помещения по отношению к положению источника шума. В этом случае существенное значение на распределение отраженной звуковой энергии оказывает влияние зеркальная составляющая отражения.

Изменение звуковой энергии в помещении с перегородками зависит от соотношения высоты помещения и перегородок. На рис. 7 цв. вклейки дан пример изменения уровней в помещении на высоте 1,5 м от пола при возможном уменьшении высоты помещения с 4,8 м до 3,3 м. При этом высота перегородок оставалась постоянной и коэффициент звукопоглощения потолка не менялся. В этом случае, как видно на карте (рис. 7 цв. вклейки), снижение уровней между перегородками происходит в целом по всему помещению и зависит от положения выделенных участков по отношению к участку с источником шума.

Дополнительное повышение эффективности снижения шума может быть обеспечено за счет увеличения звукопоглощения потолка. Пример влияния звукопоглощения потолка при изменении коэффициента звукопоглощения от 0,60 до 0,90 приведен на рис. 8 цв. вклейки. Видно, что одновременное снижение высоты помещения и увеличение звукопоглощения потолка приведет к существенному снижению уровней звукового давления. Изменение уровней за пределами участка с источником шума в среднем составляет 7,0 дБ.

В целом результаты выполненных исследований показывают, что компьютерное моделирование шумового режима в помещениях с перегородками неполной высоты, основанное на использовании комбинированной зеркально-диффузной модели оценки распределения отраженной звуковой энергии в помещении, позволяет решать практические задачи по проектированию перегородок в помещениях. Предложенная компьютерная модель адекватно реагирует на изменение параметров помещений и перегородок и может эффективно использоваться при многофакторном анализе шумового режима в помещениях с перегородками.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исследования звуковых полей в помещениях с источниками звука, размещаемыми в выгородках неполной высоты / А. И. Антонов, В. П. Гусев, О. А. Жоголева [и др.] // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2026. – № 6 (1102). – С. 34–37.
2. Оценка влияния перегородок неполной высоты на акустические параметры помещения / Т. С. Яровая, А. И. Антонов, И. В. Матвеева, Е. О. Соломатин // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2023. – Т. 25, № 1. – С. 122–133. – DOI 10.31675/1607-1859-2023-25-1-122-133.



3. Расчеты шума при проектировании шумозащиты в производственных зданиях / А. И. Антонов, В. И. Леденев, В. И. Матвеева, И. Л. Шубин. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2020. – 274 с. – ISBN 978-5-4499-0616-8.
4. Маекава, З. Акустические экраны / З. Маекава // Снижение шума в зданиях и жилых районах / под ред. Г. Л. Осипова и Е. Я. Юдина. – Москва, 1987. – С. 426–446.
5. Maekawa, Z. Environmental and architectural acoustics / Z. Maekawa. – II UK. – London : E&FN-Spon, 1994. – 377 p.
6. 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 государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2015. – № 3 (35). – С. 89–96.
7. 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 государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2017. – № 2 (42). – С. 16–23.
8. 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 : Директ-Медиа, 2022. – 192 с. – ISBN 978-5-4499-2953-2.
9. Noise Calculation Method for Industrial Premises with Bulky Equipment at Mirror-diffuse Sound Reflection / I. Tsukernikov, I. Shubin, A. Antonov, V. Ledenev, T. Nevenchannaya // Proceedings of the 3rd International Conference on Dynamics and Vibroacoustics of Machines (DVM2016), June 29–July 01, 2016 Samara, Russia : Proceedings of the 3rd International Conference on Dynamics and Vibroacoustics of Machines, DVM 2016, Samara, 29 июня – 01 2016 года. – Samara: Elsevier Ltd, 2017. – P. 218–225. – DOI 10.1016/j.proeng.2017.02.291.
10. Giasov, B. I. Method for noise calculation under specular and diffuse reflection of sound / B. I. Giasov, V. I. Ledenyov, I. V. Matveeva // Magazine of Civil Engineering. – 2018. – No. 1 (77). – P. 13–22. – DOI 10.18720/MCE.77.2.
11. Расчеты шума при проектировании шумозащиты в производственных помещениях с перегородками неполной высоты / В. П. Гусев, А. И. Антонов, О. А. Жоголева, В. И. Леденев // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2017. – № 2 (368). – С. 260–267.
12. Компьютерное обеспечение расчетов шумовых полей в зданиях и сооружениях и на территориях городской застройки / А. И. Антонов, В. П. Гусев, В. И. Леденев, И. Л. Шубин // Сборник трудов, посвященных памяти академиков РААСН В. М. Бондаренко и Г. Л. Осипова : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика РААСН В. М. Бондаренко и Материалы Международной научной конференции, посвященной памяти академика РААСН Г. Л. Осипова, Москва, 01–03 июля 2025 года. – Москва, 2025. – С. 153–159.
13. Численные методы расчета шума в несоразмерных помещениях гражданских зданий / А. И. Антонов, В. П. Гусев, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, М. А. Пороженко // Жилищное строительство. – 2023. – № 6. – С. 18–22. – DOI 10.31659/0044-4472-2023-6-18-22.
14. Расчеты воздушного шума при проектировании производственных зданий: учебное пособие / А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, И. Л. Шубин. – Москва : НИИСФ РААСН, 2024. – 142 с.
15. Оценка акустической эффективности системы звукопоглощающих кулис кессонного типа / А. И. Антонов, В. П. Гусев, В. И. Леденев, И. В. Матвеева //



Строительство и реконструкция. – 2025. – № 4 (120). – С. 3–13. – DOI 10.33979/2073-7416-2025-120-4-3-13.

**ANTONOV Aleksandr Ivanovich, doctor of technical sciences, leading researcher<sup>2</sup>; ZHOGOLEVA Olga Aleksandrovna, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of urban development and roads<sup>1</sup>, researcher<sup>2</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<sup>1</sup>, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of urban development and roads**

## COMPUTER MODELING OF NOISE CONDITIONS IN SPACES WITH PARTIAL-HEIGHT PARTITION

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

112-E, Michurinskaya St., Tambov, 392032, Russia.

Tel.: (4752) 63-09-20, (4752) 63-03-72; e-mail: gsiad\_tambov@mail.ru

<sup>2</sup>Scientific Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Constructions Sciences (RAACS).

21, Lokomotivny Proezd, Moscow, 127238, Russia.

Tel.: (495) 482-40-16

*Key words:* noise mode, computer noise modeling, mirror-diffuse calculation model, partial-height partitions.

---

*A combined mirror-diffuse computational model is proposed for assessing the noise regime in rooms with partial-height partitions. The possibilities of using this model in computer simulations of sound energy distribution in rooms with various parameters of rooms and partitions are demonstrated. The computational model and its computer implementation enable the targeted design of partial-height partitions and screens to create the necessary acoustic conditions in public and industrial spaces.*

---

## REFERENCES

1. Antonov A. I., Gusev V. P., Zhogoleva O. A. [et al.] Issledovaniya zvukovykh poley v pomeshcheniyakh s istochnikami zvuka, razmeshchaemymi v vygorodkakh nepolnoy vysoty [Investigation of sound fields in rooms with sound sources placed in partial-height enclosures]. BST: Byulleten stroitelnoy tekhniki [BST: Building Equipment Bulletin]. Moscow, 2026, № 6 (1102), P. 34–37.
2. Yarovaya T. S., Antonov A. I., Matveeva I. V., Solomatin E. O. Otsenka vliyaniya peregorodok nepolnoy vysoty na akusticheskie parametry pomeshcheniya [Assessment of the influence of partial-height partitions on the acoustic parameters of a room]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Building]. Tomsk, 2023, Vol. 25, № 1, P. 122–133. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-122-133.
3. Antonov A. I., Ledenev V. I., Matveeva V. I., Shubin I. L. Raschety shuma pri proektirovanii shumozashchity v proizvodstvennykh zdaniyakh [Noise calculations in the design of noise protection in industrial buildings]. Moscow ; Berlin, Direkt-Media, 2020, 274 p. ISBN 978-5-4499-0616-8.
4. Maekava Z. Akusticheskie ekrany [Acoustic screens]. In: Snizhenie shuma v zdaniyakh i zhilykh rayonakh [Noise reduction in buildings and residential areas], pod red. G. L. Osipova and E. Ya. Yudina. Moscow, 1987, P. 426–446.

5. Maekawa Z. Environmental and architectural acoustics. London: E&FN Spon, 1994, 377 p.
6. Antonov A. I., Batsunova A. V., Shubin I. L. Usloviya, opredelyayushchie protsessy formirovaniya shumovogo rezhima v zamknutykh obemakh, i ikh uchet pri otsenke raspredeleniya zvukovoy energii v pomeshcheniyakh [Conditions determining the processes of noise regime formation in enclosed volumes, and their consideration in assessing the distribution of sound energy in rooms]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhny Novgorod, 2015, № 3 (35), P. 89–96.
7. Antonov A. I., Ledenev V. I., Matveeva I. V., Fyodorova O. O. Vliyanie kharaktera otrazheniya zvuka ot ograzhdeniy na vybor metoda raschyota vozduhnogo shuma v grazhdanskikh i promyshlennyykh 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]. Nizhny Novgorod, 2017, № 2 (42), P. 16–23.
8. Antonov A. I., Ledenev V. I., Matveeva I. V., Shubin I. L. Raschety shuma v grazhdanskikh i promyshlennyykh zdaniyakh pri zerkalno-diffuznom otrazhenii zvuka ot ograzhdeniy [Noise calculations in civil and industrial buildings with specular-diffuse sound reflection from enclosures]. Moscow, Direkt-Media, 2022, 192 p. ISBN 978-5-4499-2953-2.
9. Tsukernikov I., Shubin I., Antonov A., Ledenev V., Nevenchannaya T. Noise Calculation Method for Industrial Premises with Bulky Equipment at Mirror-diffuse Sound Reflection. Proceedings of the 3rd International Conference on Dynamics and Vibroacoustics of Machines (DVM 2016), June 29–July 01, 2016, Samara, Russia. Samara: Elsevier Ltd, 2017, P. 218–225. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.02.291.
10. Giyasov B. I., Ledenyov V. I., Matveeva I. V. Method for noise calculation under specular and diffuse reflection of sound. Magazine of Civil Engineering, 2018, № 1 (77), P. 13–22. DOI: 10.18720/MCE.77.2.
11. Gusev V. P., Antonov A. I., Zhogoleva O. A., Ledenev V. I. Raschety shuma pri proektirovanii shumozashchity v proizvodstvennykh pomeshcheniyakh s peregorodkami nepolnoy vysoty [Noise calculations in the design of noise protection in industrial premises with partial-height partitions]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti [Proceedings of Higher Educational Institutions. Textile Industry Technology]. Ivanovo, 2017, № 2 (368), P. 260–267.
12. Antonov A. I., Gusev V. P., Ledenev V. I., Shubin I. L. Kompyuternoe obespechenie raschetov shumovykh poley v zdaniyakh i sooruzheniyakh i na territoriyakh gorodskoy zastroyki [Computer support for noise field calculations in buildings and structures and in urban development areas]. Sbornik trudov, posvyashchennykh pamyati akademikov RAASN V. M. Bondarenko i G. L. Osipova: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya akademika RAASN V. M. Bondarenko i Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati akademika RAASN G. L. Osipova, 01–03 iyulya 2025 goda. Moscow, 2025, P. 153–159.
13. Antonov A. I., Gusev V. P., Ledenev V. I., Matveeva I. V., Porozhenko M. A. Chislennyye metody rascheta shuma v nesoramernyykh pomeshcheniyakh grazhdanskikh zdaniy [Numerical methods for noise calculation in disproportionate rooms of civil buildings]. Zhilishchnoe stroitelstvo [Housing Construction]. Moscow, 2023, № 6, P. 18–22. DOI: 10.31659/0044-4472-2023-6-18-22.
14. Antonov A. I., Ledenev V. I., Matveeva I. V., Shubin I. L. Raschety vozduhnogo shuma pri proektirovanii proizvodstvennykh zdaniy: uchebnoe posobie [Airborne noise calculations in the design of industrial buildings: a study guide]. Moscow, NIISF RAASN, 2024, 142 p.
15. Antonov A. I., Gusev V. P., Ledenev V. I., Matveeva I. V. Otsenka akusticheskoy effektivnosti sistemy zvukopogloshchayushchikh kulis kessonnogo tipa [Assessment of the acoustic efficiency of a sound-absorbing caisson-type screen system]. Stroitelstvo i



---

rekonstruktsiya [Construction and Reconstruction]. Orel, 2025, № 4 (120), P. 3–13. DOI: 10.33979/2073-7416-2025-120-4-3-13.

© **А. И. Антонов, О. А. Жоголева, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, 2026**

Получено: 16.06.2026 г.