

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ
КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА
РАСЧЕТА ШУМА В ПОМЕЩЕНИЯХ
С РАССЕЙВАЮЩИМИ ЗВУК ПРЕДМЕТАМИ**

**EXPERIMENTAL ESTIMATION OF THE ACCURACY
OF THE COMBINED METHOD
OF NOISE CALCULATION IN ROOMS
WITH SOUND-SCATTERING OBJECTS**

А.И. АНТОНОВ, В.И. ЛЕДЕНЕВ, И.В. МАТВЕЕВА, И.Л. ШУБИН

A.I. ANTONOV, V.I. LEDENEV, I.V. MATVEEVA, I.L. SHUBIN

**(Тамбовский государственный технический университет,
Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук)**

**(Tambov State Technical University,
Research Institute of Building Physics of Russian Academy
of Architecture and Construction Sciences)**

E-mail: gsiad@mail.tambov.ru

На формирование шумового режима в производственных помещениях большое влияние оказывают характер отражения звука от ограждений и наличие рассеивающего звук оборудования. Для расчета шума в таких условиях разработан комбинированный расчетный метод, учитывающий сложный зеркально-диффузный характер отражения звука от ограждений и рассеивателей, размеры рассеивателей и их расположение. В статье приводятся результаты экспериментальной оценки точности комбинированного расчетного метода. При сравнительном анализе использованы результаты расчетов, выполненные при исходных данных и граничных условиях, максимально близких к реальным условиям проводимого эксперимента. Оценена также точность комбинированного расчетного метода применительно к реальным производственным условиям.

The formation of noise in production rooms is greatly influenced by the nature of the reflection of sound from fences and the presence of sound-dissipating equipment. To calculate noise under such conditions, a combined calculation method has

been developed that takes into account the complex mirror-diffuse nature of the reflection of sound from fences and scatterers, the dimensions of the scatterers and their arrangement. The results of the experimental estimation of the accuracy of the combined calculation method are given in the article. The comparative analysis uses the results of calculations performed with the initial data and boundary conditions as close as possible to the actual conditions of the experiment. The accuracy of the combined calculation method is also estimated as applied to real production conditions.

Ключевые слова: производственные помещения, шумовой режим, методы расчета шума, технологическое оборудование.

Keywords: production facilities, noise regime, noise calculation methods, process equipment

Формирование шумового режима в производственных помещениях является сложным процессом, зависящим от большого количества факторов, влияющих на возникновение и распространение отраженной составляющей шума [1]. Как показано в работе [1], к наиболее важным из них относятся характер отражения звука от ограждений и наличие в помещениях различного вида рассеивателей (строительных элементов, технологического оборудования и т.д.). В связи с этим при расчетах энергетических характеристик шума необходимо использовать методы расчета, учитывающие реальный характер отражения звука от ограждений и рассеяние звуковой энергии на предметах, находящихся в помещении.

Установлено [2], что реальный характер отражения звука от ограждений в производственных помещениях соответствует смешанной зеркально-диффузной модели отражения, при которой одна часть падающей на ограждения энергии отражается зеркально, а другая ее часть рассеивается диффузно в соответствии с законом отражения Ламберта. Выполненные нами исследования показали, что в помещениях с рассеивателями коэффициенты рассеяния отраженной энергии зависят от формы помещения, характера поверхностей, вида рассеивающего звук оборудования [2].

Для учета смешанного зеркально-диффузного характера отражения звука нами предложена комбинированная расчетная модель [3], в которой зеркальная составляющая отраженной энергии определяется методом прос-

леживания лучей [4], а рассеянная составляющая – численным статистическим энергетическим методом [5]. В настоящее время модель и реализующие ее компьютерные программы используются при расчетах шума в помещениях с технологическим оборудованием небольших размеров, равномерно распределенным по объему помещения [6], в помещениях с крупногабаритным оборудованием [3], [7], в помещениях с перегородками неполной высоты [8], а также при расчетах шума в крупногабаритных газовоздушных каналах [9...11]. Следует отметить, что при оценке распределения диффузно рассеянной составляющей отраженного шума в численном статистическом энергетическом методе используются коэффициенты звукопоглощения ограждений и длины среднего свободного пробега отраженных звуковых волн, учитывающие влияние на них рассеивающего звук оборудования [12], [13].

Для оценки адекватности предложенной расчетной модели и реализующих ее методов было проведено большое количество экспериментальных исследований с целью сравнения их с расчетными данными. Среди них для исключения влияния трудно учитываемых случайных факторов был поставлен специальный эксперимент, позволяющий более точно учесть условия формирования шумового режима в прямоугольном помещении с рассеивателями правильной геометрической формы. Основной целью эксперимента являлось установление соответствия между расчетными данными и экспериментальными результатами, полученными

ми при известных граничных условиях в помещениях и на рассеивателях и при известной мощности источника шума.

Ниже приводятся результаты сравнения расчетов уровней шума с экспериментальными данными, полученными в прямоугольном помещении при размещении в нем правильных по форме рассеивателей в виде кубов с размерами ребер, равными одному метру.

Схемы помещения и варианты расстановки оборудования и источников шума даны на рис. 1 (схема размещения оборудования, точечного источника шума и точек измерения в помещении) и 2 (схема размещения оборудования, объемного источника шума и точек измерения в помещении).

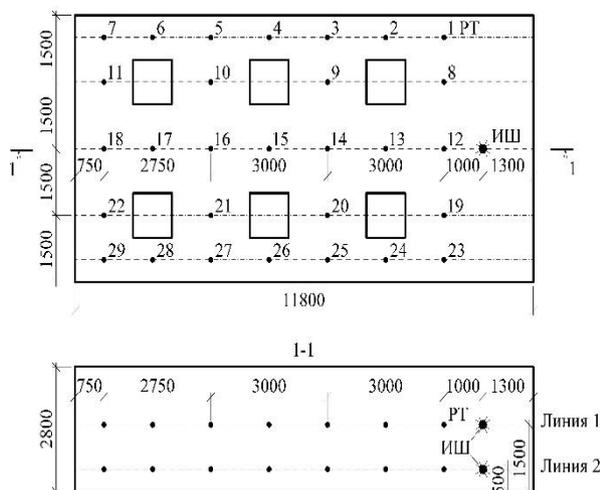


Рис. 1

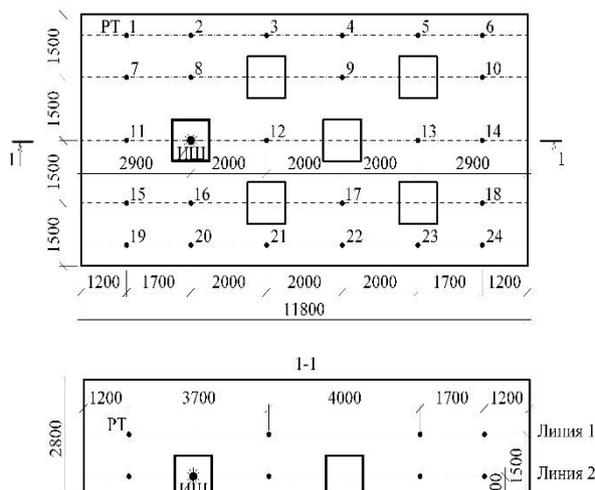


Рис. 2

В качестве источника шума использовался (додекаэдр) OED-SP-012-600. Измерения шума проводили шумомером ОКТАВА-101АМ. Измерения проводили для двух случаев: когда источник был открытым (рис. 1) и когда источник располагался внутри куба (рис. 2). В последнем случае рассеиватель работал в качестве объемного источника. Измерения выполняли в двух уровнях – 0,5 м и 1,5 м от уровня пола. Точечный источник шума располагался на этих же уров-

нях. Места положения расчетных точек и их номера указаны на рис. 1 и 2.

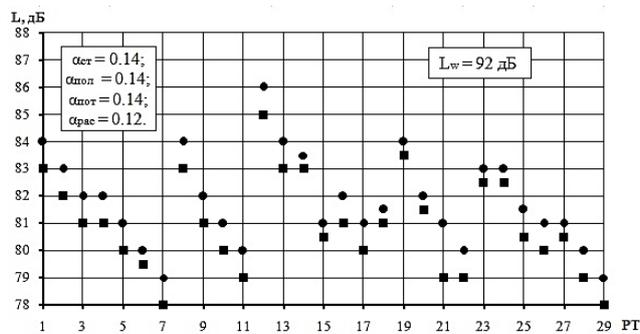
Расчеты выполняли комбинированным методом, методика реализации которого приведена в [3]. Согласно результатам работы [2] при расчетах использовался коэффициент рассеяния отраженной энергии, равный $\beta=0,2$. Коэффициенты звукопоглощения стен, полов, потолка и оборудования, использованные при расчетах, приведены в табл. 1.

Таблица 1

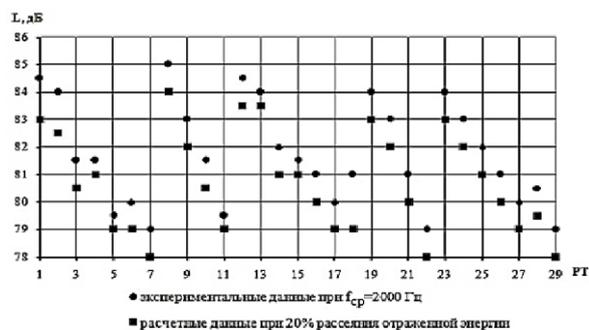
Наименование поверхностей	Коэффициенты звукопоглощения поверхностей в октавных полосах частот, Гц			
	500	1000	2000	4000
Стены, пол и потолок помещения	0,09	0,12	0,14	0,19
Поверхности рассеивателей	0,14	0,09	0,12	0,12

На рис. 3 в качестве примера приведены результаты расчетов и экспериментальные данные для октавной полосы частот с $f_{cp} = 2000$ Гц при работе точечного источника; уровни 1,5 м (а) и 0,5 м (б). На рис. 4 пока-

заны расчетные и экспериментальные данные при работе объемного источника и измерениях на уровне 1,5 м (а) и 0,5 м (б) для октавной полосы с $f_{cp} = 1000$ Гц.

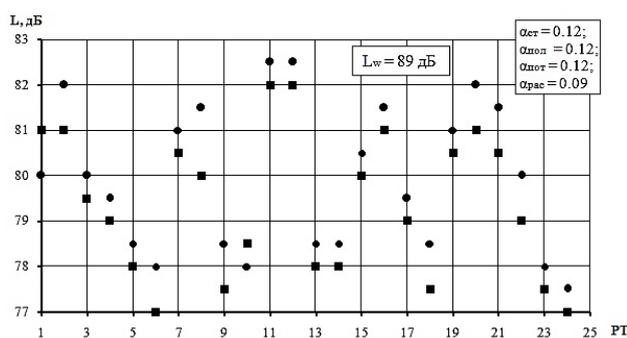


а)

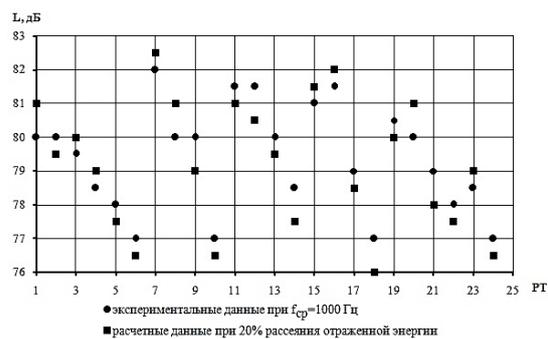


б)

Рис. 3



а)



б)

Рис. 4

Как видно из графиков, расчетные и экспериментальные данные хорошо согласуются между собой. Расхождения не превышают $\pm 1,5$ дБ. В то же время следует отметить, что в реальных производственных помещениях более сложных форм и с более разнообразным оборудованием расхождения составляют $\pm 3,0$ дБ, а в наиболее сложных ситуациях достигают и $\pm 4,0$ дБ. Это связано, в первую очередь, с неопределенностью в задании исходных данных для расчета.

ВЫВОДЫ

1. В целом результаты сравнения экспериментальных и расчетных данных подтвердили надежность расчетов звуковых полей в помещениях с оборудованием на основе предложенной комбинированной расчетной модели.

2. В случае расчетов шума для реальных производственных помещений погрешность расчетов может составлять $\pm 3,0$ дБ, что вполне приемлемо при разработке шумозащит-

ных мероприятий и оценке их акустической эффективности.

3. Для практических расчетов при проектировании шумозащиты в помещениях с оборудованием разработана компьютерная программа, реализующая предложенные расчетные методы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов А.И., Бацунова А.В., Шубин И.Л. Условия, определяющие процессы формирования шумового режима в замкнутых объемах, и их учет при оценке распределения звуковой энергии в помещениях // Приволжский научный журнал. – 2015, №3 (35). С. 89...96.
2. Антонов А.И., Леденев В.И., Матвеева И.В., Федорова О.О. Влияние характера отражения звука от ограждений на выбор метода расчета воздушного шума в гражданских и промышленных зданиях // Приволжский научный журнал. – 2017, №2 (42). С.16...23.
3. Tsukernikov I., Antonov A., Ledenev V., Shubin I., Nevenchannaya T. Noise calculation method for industrial premises with bulky equipment at mirror-diffuse sound reflection // Procedia Engineering. – №176, 2017. P. 218...225.

4. Антонов А.И. Математическое моделирование процессов распространения звуковой энергии в зданиях // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2014, № 3 (53). С. 17...23.
5. Леденев В.И., Антонов А.И., Жданов А.Е. Статистические энергетические методы расчета отраженных шумовых полей помещений // Вестник Тамбовского гос. технич. ун-та. – 2003. Т.9, №4. С.713...717.
6. Леденев В.И., Макаров А.М. Расчет энергетических параметров шумовых полей в производственных помещениях сложной формы с технологическим оборудованием // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2008, № 2. С. 94...101.
7. Антонов А.И., Леденев В.И., Соломатин Е.О. Комбинированный метод расчета шумового режима в производственных зданиях теплоэлектроцентралей // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2011, № 2. С. 16...24.
8. Гусев В.П., Антонов А.И., Жоголева О.А., Леденев В.И. Расчеты шума при проектировании шумозащиты в производственных помещениях с перегородками неполной высоты // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 2. С.260...267.
9. Гусев В.П., Сидорина А.В., Антонов А.И., Леденев В.И. Проектирование звукоизоляции крупногабаритных вентиляционных каналов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 2. С. 254...260.
10. Гусев В.П., Жоголева О.А., Леденев В.И. Компьютерный расчет уровней шума при проектировании крупногабаритных газоздушных каналов // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2016, № 6 (982). С. 15...17.
11. Гусев В.П., Леденев В.И. Комбинированный метод расчета уровней шума в крупногабаритных газоздушных каналах // В сб. докл. Всерос. научн.-практ. конф. с междунар. участием: Защита от повышенного шума и вибрации / Под ред. Н.И. Иванова. – 2013. С. 335...341.
12. Леденев В.И., Макаров А.М., Матвеева И.В., Шубин И.Л. Методика оценки коэффициентов звукопоглощения в производственных помещениях с технологическим оборудованием // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 2. С. 249...254.
13. Антонов А.И., Леденев В.И., Цукерников И.Е., Шубин И.Л. Компьютерное моделирование акустических параметров производственных помещений предприятий текстильной промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 4. С. 193...198.
14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012613166. Расчет шумового поля в производственных помещениях энергетических объектов с крупногабаритным оборудованием / А. И. Антонов, Е. О. Соломатин. - Заявка №2012610818; дата поступл. 08.02.2012; зарег. 03.04.2012
1. Antonov A.I., Bacunova A.V., Shubin I.L. Usloviya, opredelajushhie processy formirovaniya shumovogo rezhima v zamknutyh ob"emah, i ih uchet pri ocenke raspredelenija zvukovoj jenerгии v pomeshhenijah // Privolzhskij nauchnyj zhurnal. – 2015, №3 (35). S. 89...96.
2. Antonov A.I., Ledenev V.I., Matveeva I.V., Fedorova O.O. Vlijanie haraktera otrazhenija zvuka ot ograzhdenij na vybor metoda rascheta vozdušnogo shuma v grazhdanskij i promyshlennyh zdaniyah // Privolzhskij nauchnyj zhurnal. – 2017, № 2 (42). S.16...23.
3. Tsukernikov I., Antonov A., Ledenev V., Shubin I., Nevenchannaya T. Noise calculation method for industrial premises with bulky equipment at mirror-diffuse sound reflection // Procedia Engineering. – №176, 2017. P. 218...225.
4. Antonov A.I. Matematicheskoe modelirovanie processov rasprostraneniya zvukovoj jenerгии v zdaniyah // Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo. – 2014, № 3 (53). S. 17...23.
5. Ledenev V.I., Antonov A.I., Zhdanov A.E. Statisticheskie jenergeticheskie metody rascheta otrazhennyh shumovyh polej pomeshhenij // Vestnik Tambovskogo gos. tehnic. un-ta. – 2003. T. 9, №4. S.713...717.
6. Ledenev V.I., Makarov A.M. Raschet jenergeticheskij parametrov shumovyh polej v proizvodstvennyh pomeshhenijah slozhnoj formy s tehnologicheskim oborudovaniem // Nauchnyj zhurnal stroitel'stva i arhitektury. – 2008, № 2. S. 94...101.
7. Antonov A.I., Ledenev V.I., Solomatin E.O. Kombinirovannyj metod rascheta shumovogo rezhima v proizvodstvennyh zdaniyah teplojelektrocentralej // Nauchnyj zhurnal stroitel'stva i arhitektury. – 2011, № 2. S.16...24.
8. Gusev V.P., Antonov A.I., Zhogoleva O.A., Ledenev V.I. Raschety shuma pri proektirovanii shumozashhity v proizvodstvennyh pomeshhenijah s peregorodkami nepolnoj vysoty // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2017, № 2. S.260...267.
9. Gusev V.P., Sidorina A.V., Antonov A.I., Ledenev V.I. Proektirovanie zvukoizoljicii krupnogabaritnyh ventiljacionnyh kanalov // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2017, № 2. S. 254...260.
10. Gusev V.P., Zhogoleva O.A., Ledenev V.I. Komp'juternyj raschet urovnej shuma pri proektirovanii krupnogabaritnyh gazovozdušnyh kanalov // BST: BULLETEN' STROITEL'NOJ TEHNIKI. – 2016, № 6 (982). S. 15...17.
11. Gusev V.P., Ledenev V.I. Kombinirovannyj metod rascheta urovnej shuma v krupnogabaritnyh gazovozdušnyh kanalakh // V sb. dokl. Vseros. nauchn.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem: Zashhita ot povyshennogo shuma i vibracii / Pod red. N.I. Ivanova. – 2013. S. 335...341.
12. Ledenev V.I., Makarov A.M., Matveeva I.V., Shubin I.L. Metodika ocenki koeficientov zvukopogloshhenija v proizvodstvennyh pomeshhenijah s tehnologicheskim oborudovaniem // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2017, № 2. S. 249...254.

13. Antonov A.I., Ledenev V.I., Cukernikov I.E., Shubin I.L. Komp'juternoe modelirovanie akusticheskikh parametrov proizvodstvennykh pomeshhenij predpriyatij tekstil'noj promyshlennosti // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2016, № 4. S. 193...198.

14. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM № 2012613166. Raschet shumovogo polja v proizvodstvennykh pomeshhenijah jenergeticheskikh ob"ektov s krupnogabaritnym oborudovaniem / A.I. Antonov, E.O. Solomatin. Zajavka №2012610818; data postupl. 08.02.2012; zareg. 03.04.2012

Рекомендована Ученым советом НИИСФ РААСН.
Поступила 18.06.19.
