

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

## BUILDING AND CONSTRUCTION

Вестник Томского государственного  
архитектурно-строительного университета.  
2023. Т. 25. № 1. С. 122–133.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)  
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo  
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –  
Journal of Construction and Architecture.  
2023; 25 (1): 122–133.  
Print ISSN 1607-1859  
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 534.2

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-122-133

### ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПЕРЕГОРОДОК НЕПОЛНОЙ ВЫСОТЫ НА АКУСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОМЕЩЕНИЯ

Татьяна Сергеевна Яровая<sup>1</sup>, Александр Иванович Антонов<sup>1,2</sup>,  
Ирина Владимировна Матвеева<sup>1</sup>, Евгений Олегович Соломатин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Тамбовский государственный технический университет,  
г. Тамбов, Россия,

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН,  
г. Москва, Россия

**Аннотация.** *Актуальность.* В современной практике обслуживания населения широкое распространение имеют операционные залы. Они относятся к помещениям с массовым пребыванием людей. В этом случае на качество обслуживания операторами клиентов оказывает влияние большое количество одновременно разговаривающих между собой людей. В результате этого снижается слышимость и разборчивость речи в паре оператор – клиент.

Для повышения качества обслуживания клиентов в операционных залах устраиваются выгородки из перегородок неполной высоты. В этом случае общее пространство помещения представляет собой отдельные акустически связанные объемы, формирование акустического режима в которых является сложным многофакторным процессом.

**Цель.** Разработка методики оценки изменения акустического режима в выделенных пространствах помещений с массовым пребыванием людей с позиций обеспечения в них разборчивости речи.

**Материалы и методы.** Предлагается методика оценки разборчивости речи между оператором и клиентом, находящимися в выделенных перегородками неполной высоты пространствах.

**Результаты.** Представлена методика оценки изменения акустического режима в выделенных пространствах помещения с позиций обеспечения в них разборчивости речи. Дан пример использования методики для решения конкретной задачи.

**Выводы.** Методика и разработанная для ее реализации компьютерная программа дают возможность обеспечивать необходимый акустический режим путем целенаправлен-

ного проектирования объемно-планировочных решений выгородок и определения необходимых звукопоглощающих и звукоизолирующих характеристик ограждений.

**Ключевые слова:** объекты с массовым пребыванием людей, перегородки неполной высоты, разборчивость речи, расчеты слышимости и разборчивости речи

**Для цитирования:** Яровая Т.С., Антонов А.И., Матвеева И.В., Соломатин Е.О. Оценка влияния перегородок неполной высоты на акустические параметры помещения // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 1. С. 122–133. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-122-133.

## ORIGINAL ARTICLE

### EFFECT OF INCOMPLETE HEIGHT OF PARTITIONS ON ACOUSTICAL PARAMETERS OF OPERATING AREAS

Tat'yana S. Yarovaya<sup>1</sup>, Aleksandr I. Antonov<sup>1,2</sup>,  
Irina V. Matveeva<sup>1</sup>, Evgeniy O. Solomatin<sup>1</sup>

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

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

**Abstract.** Operating areas are currently widely used in public service. They refer to rooms with a mass presence of people. The quality of customer service is influenced by a large number of people talking to each other at the same time. As a result, the audibility and intelligibility of speech in the operator-client pair decreases. Partitions of an incomplete height are arranged to improve the quality of customer service in operating areas.

**Purpose:** Methodology is proposed to evaluate acoustic changes in rooms with a mass presence of people from the standpoint of ensuring speech intelligibility.

**Methodology:** The method for assessing the speech intelligibility between the operator and client in space with partitions of incomplete height.

**Research findings:** The proposed method can be used to evaluate acoustic changes rooms from the standpoint of the speech intelligibility. The example is given to the technique used to solve this problem.

**Practical implications:** The proposed method and developed computer program for its implementation will provide a necessary acoustic mode through a purposeful design of space-planning solutions for partitions and determine their sound-absorbing and sound-insulating characteristics.

**Keywords:** objects with a mass presence of people, partitions of incomplete height, intelligibility of speech, calculations of audibility and intelligibility of speech

**For citation:** Yarovaya T.S., Antonov A.I., Matveeva I.V., Solomatin E.O. Effect of incomplete height of partitions on acoustical parameters of operating areas. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (1): 122–133. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-122-133.

## Введение

В настоящее время имеется большое количество помещений общественных зданий, в которых может находиться значительное количество одновременно обслуживаемых людей. К таким помещениям, например, относятся операционные залы различного назначения. Большое число одновременно разговаривающих людей создают условия, при которых слышимость и раз-

борчивость речи становятся неудовлетворительными. Наличие общего пространства, не имеющего какого-либо разделения, приводит к воздействию на посетителей целого ряда раздражающих факторов. К ним, в частности, относится прямой зрительный контакт с соседними клиентами и, соответственно, отсутствие конфиденциальности, а также возникающий при разговорах шумовой фон, влияющий на слышимость и разборчивость речи в процессе диалога между операторами и клиентами.

Обеспечение приватности общения оператора с клиентом и создание необходимого психоэмоционального состояния может достигаться за счет устройства в помещениях с массовым пребыванием людей перегородок неполной высоты. Устройство перегородок дает возможность не только ограничить зрительный контакт и повысить уровень конфиденциальности, но и создать необходимые акустические условия при речевом контакте между оператором и клиентом.

Устройство неполных по высоте перегородок приводит к образованию отдельных полужамкнутых воздушных пространств (ячеек), акустический режим в которых создается звуковой энергией, возникающей при разговоре между оператором и клиентом, и общим шумовым фоном, образующимся при разговоре всех операторов одновременно, а также при разговорах людей (клиентов), находящихся в зонах ожидания. Шумовой фон в каждой конкретной ячейке создается за счет распространения звуковой энергии в общем пространстве над перегородками. В ряде случаев, например при низкой звукоизоляции перегородок, в шумовой фон будет добавляться и звуковая энергия, проникающая через перегородки из соседних ячеек и из зоны ожидания.

Наличие шумового фона в некоторых ситуациях может способствовать повышению приватности в общении клиента с оператором. Однако в большинстве случаев шумовой фон снижает разборчивость речи и тем самым является существенной помехой в процессе общения.

Таким образом, при проектировании перегородок неполной высоты необходимо оценивать изменения акустического режима в выделенных пространствах помещения (ячейках) с позиций обеспечения в них разборчивости речи.

### Методика оценки разборчивости речи

Для оценки разборчивости речи в одном помещении при большом скоплении в нем людей наиболее приспособлен метод реверберационных помех, основанный на использовании критерия Сухаревского – Стретта [1]. Согласно данному методу, качество передачи и восприятия речи определяется фактором  $Q''$ , который вычисляется по формуле

$$Q'' = K_L T Q, \quad (1)$$

где  $K_L$  – коэффициент, зависящий от уровня полезного звука в точке приема и определяемый по графику или формуле, приведенным в работе [1];  $T$  – время реверберации, определяемое по известной формуле Эйринга:

$$T = \frac{0,041 l_{\text{ср}}}{-\ln(1 - \bar{\alpha})}, \quad (2)$$

где  $\bar{\alpha}$  – средний коэффициент звукопоглощения поверхностей помещения;  $l_{\text{ср}}$  – средняя длина свободного пробега звуковых лучей в помещении;  $Q$  – фактор акустического качества (критерий Сухаревского – Стретта), определяемый по выражению

$$Q = \frac{\varepsilon_{\text{пр}} + \varepsilon_{\text{ран}}}{\varepsilon_{\text{поз}} + \varepsilon_{\text{фон}}}. \quad (3)$$

В числителе выражения (3) дана плотность звуковой энергии полезного сигнала, включающая в себя энергию прямого звука  $\varepsilon_{\text{пр}}$  и энергию ранних отражений  $\varepsilon_{\text{ран}}$ , приходящих к слушателю с задержкой не более 0,05 с по отношению к приходу прямого звука. В знаменателе даются плотности звуковой энергии фонового шума  $\varepsilon_{\text{фон}}$  и поздних отражений  $\varepsilon_{\text{поз}}$ , оказывающих негативное влияние на разборчивость речи.

Между фактором  $Q''$  и слоговой разборчивостью речи имеется зависимость [1–3]. По величине фактора реверберационных помех можно найти коэффициент артикуляции  $A$ , определяющий отношение в процентах правильно понятых слогов к общему числу произнесенных слогов (рис. 1). Коэффициент  $A$  характеризует слоговую разборчивость речи. Установлено, что разборчивость сигнала является удовлетворительной при слоговой разборчивости более 60 %. Это условие выполняется, если фактор реверберационных помех  $Q''$  превышает величину 1,1.

В случае общения оператора и клиента значение фактора  $Q'' > 1,1$  можно считать нижней допустимой границей.

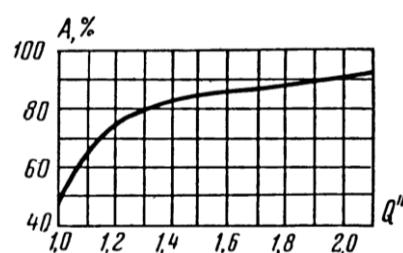


Рис. 1. Зависимость коэффициента артикуляции  $A$  от фактора  $Q''$

Fig. 1. Articulation  $A$ /factor  $Q$  dependence

Формулы (2) и (3) могут использоваться в случае формирования в помещении диффузного звукового поля. При разделении общего объема перегородками неполной высоты и образовании отдельных объемов, акустически связанных через общее над ними пространство, расчеты времени реверберации и критерия  $Q$  существенно усложняются, и особенно при зеркально-диффузном характере отражения звука от ограждений [4].

Величина критерия  $Q$  при зеркально-диффузном отражении будет определяться по формуле

$$Q = \frac{\varepsilon_{\text{пр}} + \varepsilon_{\text{ран}}^3 + \varepsilon_{\text{ран}}^{\text{д}}}{\varepsilon_{\text{фон}} + \varepsilon_{\text{поз}}^3 + \varepsilon_{\text{поз}}^{\text{д}}}, \quad (4)$$

где  $\varepsilon_{\text{ран}}^3, \varepsilon_{\text{ран}}^{\text{д}}$  – плотности энергии соответственно ранних зеркальных и диффузных отражений, приходящих к слушателю в ячейке при разговоре одного из двух находящихся в ней людей;  $\varepsilon_{\text{поз}}^3, \varepsilon_{\text{поз}}^{\text{д}}$  – плотности энергии соответственно поздних зеркальных и диффузных отражений, снижающих разборчивость речи;  $\varepsilon_{\text{фон}}$  – плотность энергии фонового шума, приходящего в ячейку из общего пространства над перегородками.

Величина  $\varepsilon_{\text{пр}}$  в общем случае определяется выражением

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \frac{W\Phi}{\Omega cr^2}, \quad (5)$$

где  $W$  – акустическая мощность разговаривающего человека;  $\Phi$  – фактор направленности для плотности звуковой энергии [5];  $c$  – скорость звука;  $r$  – расстояние между общающимися в ячейке людьми (примерно  $\geq 1$  м).

Величина  $\varepsilon_{\text{ран}}^3$  в пределах ячейки определяется методом прослеживания лучей по известной методике с учетом фактора направленности излучения звука [6]. Энергия определяется для промежутка времени в пределах 0,05 с после прихода к слушателю прямого звука.

Величина  $\varepsilon_{\text{ран}}^{\text{д}}$  вычисляется по формуле

$$\varepsilon_{\text{ран}}^{\text{д}} = \frac{4W(1-\alpha)}{\alpha Sc} \left(1 - e^{-\frac{\alpha ct}{l_{\text{ср}}}}\right), \quad (6)$$

где  $\alpha$  – средний коэффициент звукопоглощения поверхностей помещения в пределах ячейки;  $S$  – площадь ограждающих поверхностей в пределах ячейки;  $l_{\text{ср}}$  – средняя длина пробега звуковых лучей в пределах ячейки.

Время  $t$  в данном случае равно 0,05 с.

Величина  $\varepsilon_{\text{поз}}^3$  определяется методом прослеживания лучей путем суммирования энергии лучей, приходящих в расчетную точку после времени  $t = 0,05$  с.

Величина  $\varepsilon_{\text{поз}}^{\text{д}}$  вычисляется по формуле

$$\varepsilon_{\text{поз}}^{\text{д}} = \frac{4W(1-\alpha)}{\alpha Sc} e^{-\frac{\alpha ct}{l_{\text{ср}}}}. \quad (7)$$

### Методика расчета фонового шума

Более сложно производится расчет фонового шума. Для расчета фонового шума используется разработанный нами комбинированный метод расчета шума в помещениях при зеркально-диффузном характере отражения звука от ограждений [7, 8]. Метод ранее использован нами для оценки шума в производственных помещениях с перегородками неполной высоты. Методика его использования для таких планировочных ситуаций подробно рассмотрена в статье [9]. Для реализации методики разработана компьютерная программа [10].

Программа позволяет вычислять плотность звуковой энергии, приходящей в исследуемую ячейку из других ячеек через общее пространство над перегород-

ками и через стенки перегородок, а также плотность звуковой энергии, приходящей такими же путями из зон ожидания клиентов. При расчете плотности звуковой энергии, приходящей из клиентских зон, расчет прямого звука, излучаемого клиентами, производится методами, рассмотренными в статьях [11–13].

Время реверберации  $T$  для каждого выделенного объема может определяться по формуле (2). При этом средняя длина свободного пробега  $l_{\text{ср}}$  и  $\alpha$  принимаются для каждого выделенного объема. Выполненный анализ изменений длины среднего пробега в помещениях с выгородками свидетельствует о возможности такого подхода к определению времени реверберации  $T$  [14].

Использование предложенной методики и реализующей ее программы позволяет оценивать влияние на разборчивость речи звукопоглощающих и звукоизолирующих характеристик помещения и перегородок, а также объемно-планировочных параметров проектируемого пространства помещения с выгородками.

Ниже приведен пример расчета разборчивости речи в помещении с перегородками неполной высоты. Расчет выполнен в соответствии с рассмотренной методикой.

#### Пример расчета разборчивости речи в помещении с перегородками неполной высоты

План помещения приведен на рис. 2. Высота помещения 4,2 м. Кабины отделены от зала перегородками высотой 2,5 м. Средний коэффициент звукопоглощения ограждений принят одинаковым для всех расчетных частотных диапазонов –  $\alpha = 0,1$ . Для улучшения разборчивости речи рассматривались варианты отделки потолка звукопоглощающей облицовкой с коэффициентом звукопоглощения  $\alpha = 0,8$ . Модель отражения звука от ограждений принята зеркально-диффузной со степенью рассеивания звука 20 %.

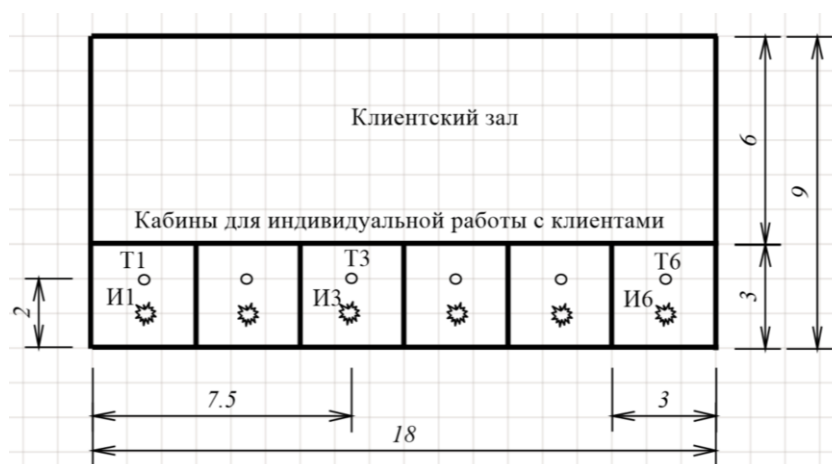


Рис. 2. План зала с кабинами для индивидуальной работы с клиентами:

И1 – И6 – персонал; Т1 – Т6 – клиенты

Fig. 2. Operating area with partitions for individual work with customers: И1 – И6 – personnel; Т1 – Т6 – customers

Акустические параметры речи (акустическая мощность и направленность) определены экспериментальным путем Т.С. Яровой [5].

В расчетах принято, что в индивидуальных кабинках, выполненных из перегородок неполной высоты, с клиентами общаются операторы (женщины), разговаривающие со средним уровнем громкости. В клиентском зале располагаются 20 посетителей, 60 % женщин и 40 % мужчин. Плотность расположения клиентов в зале в среднем – 1 человек на 5 м<sup>2</sup>. Одновременно разговаривают 20 % посетителей с громкостью на 3 дБ ниже, чем уровень обычной речи. Уровни акустической мощности источников звука приведены в табл. 1.

Таблица 1

## Уровни акустической мощности источников шума

Table 1

## Acoustic power levels of noise sources

Характеристика речи	Эквивалентные уровни звуковой мощности $L_w$ , дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Женская речь средней громкости (персонал)	45,4	66,9	68,0	59,0	53,3	49,8	45,8
Мужская речь средней громкости	73,4	70,4	70,0	59,9	55,4	48,4	41,6
Речь посетителей в клиентском зале*	59,2	66,1	66,2	56,5	51,6	46,0	40,3

\* Состав посетителей: 60 % – женщины, 40 % – мужчины. Уровень громкости речи посетителей в клиентском зале ниже уровня речи средней громкости с поправкой – 3 дБ.

Направленность речи посетителей в клиентском зале принята равновероятной по всем направлениям в горизонтальной плоскости. Факторы направленности женской речи (персонала) рассчитываются по выражениям:

– в октавных полосах частот 125–1000 Гц

$$\Phi(\theta) = 0,54 + 0,75 \cos \frac{\theta}{2} + 0,02 \sin \theta; \quad (8)$$

– в октавных полосах частот 2000–4000 Гц

$$\Phi(\theta) = 0,18 + 2 \cos \frac{\theta}{2} - 0,8 \sin \theta. \quad (9)$$

Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

## Факторы направленности женской речи

Table 2

## Directional factors of women's speech

Угол отклонения от направления речи, градус	0	15	30	45	60	75	90
Фактор направленности женской речи на частотах 1000 Гц и ниже	1,29	1,30	1,27	1,25	1,21	1,15	1,09

Окончание табл. 2

End of Table 2

Угол отклонения от направления речи, градус	105	120	135	150	165	180	–
Фактор направленности женской речи на частотах 1000 Гц и ниже	1,02	0,93	0,84	0,74	0,64	0,54	–
Угол отклонения от направления речи, градус	0	15	30	45	60	75	90
Фактор направленности женской речи на частотах 2000 Гц и выше	2,18	1,96	1,71	1,46	1,22	0,99	0,79
Угол отклонения от направления речи, градус	105	120	135	150	165	180	–
Фактор направленности женской речи на частотах 2000 Гц и выше	0,62	0,49	0,38	0,30	0,23	0,18	–

### Результаты расчета разборчивости речи

Расчет выполнен для октавной полосы со среднегеометрической частотой 500 Гц. Считается, что расчет на этой частоте наиболее приближен к расчету в уровнях А [15].

Расчет разборчивости произведен для клиента, находящегося в расчетной точке ТЗ, когда с ним разговаривает оператор в точке ИЗ. Расчет разборчивости речи выполнен для помещения без индивидуальных кабин и при их наличии. Потолок помещения при расчетах принимался без звукопоглощающей облицовки и при ее устройстве. В качестве помехи для слушателя в точке ТЗ является речь других операторов или клиентов и речь посетителей клиентского зала. В каждой паре оператор – клиент разговор ведет только один человек: клиент или оператор.

Расчет энергетических параметров звукового поля выполнен в два этапа. В первом случае разговор происходит в точке ИЗ, а все остальные источники звука не учитываются (выключены). По результатам этого расчета определяются компоненты полезного сигнала, куда входит прямой звук и ранние отражения по выражению (4). Также выполняется расчет поздних отражений, которые являются помехами для восприятия речи. На втором этапе производится расчет шума в расчетной точке ТЗ от всех остальных источников звука. Вся звуковая энергия от этих источников считается фоновым шумом и является помехой для восприятия речи. Результаты расчета разборчивости речи приведены в табл. 3.

Условные обозначения:  $L_{\text{общ}}$  – прямой и отраженный звук;  $L_{\text{пр}}$  – уровень прямого звука;  $L_{\text{диф}}$  – уровень диффузно отраженного звука;  $L_{\text{зерк}}$  – уровень зеркально отраженного звука;  $L_{\text{об}}$  – общий уровень помех или полезного сигнала;  $Q$  – фактор акустического качества;  $K_L$  – коэффициент;  $Q''$  – фактор реверберационных помех.

Расчеты показали, что при отсутствии индивидуальных кабин разборчивость речи является неудовлетворительной. Звукопоглощающая облицовка потолка снижает уровень помех, но практически не влияет на повышение разборчивости речи.



Таблица 3

Результаты расчета разборчивости речи для клиента, находящегося в точке ТЗ

Table 3

Results of speech intelligibility calculation for client at point T3

Характеристика помещения	Работающие источники	$L_{\text{общ}}$	$L_{\text{пр}}$	$L_{\text{отраж}}$		Полезный сигнал, дБ						Помеха, дБ				$Q$	$K_L$	$Q''$
				$L_{\text{диф}}$	$L_{\text{зерк}}$	$L_{\text{пр}}$	$L_{\text{диф}}$	$L_{\text{зерк}}$	$L_{\text{об}}$	$L_{\text{диф}}$	$L_{\text{зерк}}$	$L_{\text{фон}}$	$L_{\text{об}}$					
Без перегородок	ИЗ	59,9	57,9	54,2	49,4	57,9	49,0	44,2	58,6	52,7	47,9	—	64,1	0,28	0,99	0,53		
	Все, кроме ИЗ	63,7	53,7	61,7	58,3	—	—	—	—	—	—	63,7						
Без перегородок, потолок облицован	ИЗ	59,3	58,2	45,6	52,2	58,2	44,1	50,7	59,0	40,1	46,7	—	58,4	1,16	0,99	0,63		
	Все, кроме ИЗ	58,0	52,3	53,1	54,0	—	—	—	—	—	—	58,0						
Есть перегородки, нет облицовки потолка	ИЗ	61,8	57,9	54,4	57,8	57,9	49,4	57,6	61,2	52,8	44,3	—	63,5	0,57	1,00	1,07		
	Все, кроме ИЗ	63,1	—	61,9	56,9	—	—	—	—	—	—	63,1						
Есть перегородки, потолок облицован	ИЗ	61,5	57,9	49,8	58,4	57,9	48,9	58,4	61,4	42,7	—	—	56,7	3,00	1,00	1,39		
	Все, кроме ИЗ	56,5	—	53,9	53,8	—	—	—	—	—	—	56,5						

Устройство индивидуальных кабин из перегородок неполной высоты значительно повышает разборчивость речи. При отсутствии эффективного звукопоглощения кабины незначительно снижают величину помех при одновременном повышении уровня полезного сигнала. Полезный сигнал возрастает за счет увеличения доли ранних отражений звука от стенок кабины. В этом случае качество разборчивости речи приближается к характеристике «удовлетворительно». В случае звукопоглощающей облицовки потолка и при наличии перегородок слоговая разборчивость при факторе  $Q = 1,39$  достигает 82 %, и качество восприятия речи можно считать «хорошим».

Результаты расчетов показали, что устройство в данном конкретном случае индивидуальных кабин из перегородок неполной высоты позволяет обеспечить необходимые параметры разборчивости речи в диалоге оператор – клиент.

### Выводы

1. В целом предложенная методика оценки разборчивости речи в помещениях с перегородками неполной высоты дает возможность производить целенаправленное проектирование различных по объемно-планировочным параметрам выгородок.

2. Методика и ее компьютерная реализация позволяют определять влияние на слышимость и разборчивость речи звукопоглощающих характеристик поверхностей помещений и звукоизоляции перегородок и тем самым определять эффективные мероприятия по акустическому благоустройству в помещениях с массовым пребыванием людей.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Маньковский В.С. Акустика студий и залов для звуковоспроизведения. Москва : Искусство, 1966. 376 с.
2. Гавриленко О.В., Дидковский В.С., Продеус А.Н. Расчет и измерение разборчивости речи при малых отношениях сигнал-шум // Электроника и связь. Тематический выпуск «Проблемы электроники». Ч. 1. 2007. С. 137–147.
3. Ефимов А.П., Никонов А.В., Сапожков М.Н., Шоров В.И. Акустика : справочник / под ред. М.А. Сапожкова. Москва : Радио и связь, 1989. 336 с.
4. 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.
5. Антонов А.И., Жоголева О.А., Яровая Т.С. Экспериментальное определение энергетических параметров речи с целью использования их при оценке шумового режима на объектах с массовым пребыванием людей // Приволжский научный журнал. 2017. № 4 (44). С. 9–15.
6. Антонов А.И., Леденев В.И., Матвеева И.В., Шубин И.Л. Расчеты шума в гражданских и промышленных зданиях при зеркально-диффузном отражении звука от ограждений. Москва : Директ-Медиа, 2022. 192 с.
7. Tsukernikov I., Shubin I., Antonov A., Ledenev V., Nevenchannaya T. Noise calculation method for industrial premises with bulky equipment at mirror-diffuse sound reflection // Procedia Engineering. Proceedings of the 3rd International Conference on Dynamics and Vibroacoustics of Machines, DVM 2016. 2017. № 176. P. 218–225. DOI:10.1016/j.proeng.2017.02.291
8. Gıyasov 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). С. 13–22.
9. Гусев В.П., Антонов А.И., Жоголева О.А., Леденев В.И. Расчеты шума при проектировании шумозащиты в производственных помещениях с перегородками неполной высоты //

- Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2017. № 2 (368). С. 260–267.
10. Антонов А.И., Жоголева О.А., Леденев В.И. Расчет трехмерных шумовых полей в помещениях с акустическими экранами и перегородками неполной высоты // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. RU2016617798, 14.07.2016 ; заявка № 2016614938 от 16.05.2016.
  11. Антонов А.И., Леденев В.И., Яровая Т.С. Расчеты шума при акустическом благоустройстве в помещениях с массовым пребыванием людей // Строительство и реконструкция. 2017. № 4 (72). С. 94–101.
  12. Антонов А.И., Шубин И.Л., Яровая Т.С. Расчет распространения прямого звука в городской среде от объектов с массовым пребыванием людей // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2017. № 3 (19). С. 105–112.
  13. Антонов А.И., Яровая Т.С. Расчет прямого звука от большого количества людей как от однотипных стохастических источников шума // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство и транспорт : материалы 3-й Международной научно-практической конференции Института архитектуры, строительства и транспорта Тамбовского государственного технического университета. 2016. С. 64–67.
  14. Антонов А.И., Яровая Т.С. Зависимость средней длины свободного пробега звука от положения источника в помещении с перегородками неполной высоты // Современная наука: теория, методология, практика : материалы 2-й Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. 2020. С. 75–78.
  15. Шубин И.Л., Антонов А.И., Яровая Т.С. О возможности расчета шума в децибелах «А» в местах массового пребывания людей // Строительство и реконструкция. 2018. № 3 (77). С. 83–88.

## REFERENCES

1. Man'kovskij V.S. Acoustics of studios and halls for sound reproduction. Moscow: Iskusstvo, 1966. 376 p. (In Russian).
2. Gavrilenko O.V., Didkovskij V.S., Prodeus A.N. Calculation and measurement of speech intelligibility at small signal-to-noise ratios. In: *Electronics and communications. "Problems of Electronics"*. Vol. 1. 2007. Pp. 137–147. (In Russian).
3. Efimov A.P., Nikonov A.V., Sapozhkov M.N. (Ed.), Shorov V.I. Acoustics: Reference book, Moscow: Radio i svyaz', 1989. 336 p. (In Russian).
4. Antonov A.I., Ledenev V.I., Matveeva I.V., Fedorova O.O. Influence of sound reflection nature on calculation method of air noise in civil and industrial buildings. *Privolzhskij nauchnyj zhurnal*. 2017; 42 (2): 16–23. (In Russian).
5. Antonov A.I., Zhogoleva O.A., Yarovaya T.S. Energy parameters of speech in for assessing noise in operating areas with mass presence of people. *Privolzhskij nauchnyj zhurnal*. 2017; (44) 4: 9–15. (In Russian).
6. Antonov A.I., Ledenev V.I., Matveeva I.V., Shubin I.L. Noise calculations in civil and industrial buildings with mirror-diffuse sound reflection. Moscow: Direkt-Media, 2022. 192 p. (In Russian).
7. Tsukernikov I., Shubin I., Antonov A., Ledenev V., Nevenchannaya T. Noise calculation method for industrial premises with bulky equipment at mirror-diffuse sound reflection. *Procedia Engineering*. 2017; (176): 218–225. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.02.291
8. 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; 77 (1): 13–22.
9. Gusev V.P., Antonov A.I., Zhogoleva O.A., Ledenev V.I. Noise calculations in the design of noise protection in industrial premises with partitions of incomplete height. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*. 2017; 2(368): 260–267. (In Russian).
10. Antonov A.I., Zhogoleva O.A., Ledenev V.I. Three-dimensional noise fields in rooms with acoustic screens and partitions of incomplete height. RF Certificate of State Registration of Software N RU2016617798, 2016. (In Russian).
11. Antonov A.I., Ledenev V.I., Yarovaya T.S. Noise calculations for acoustic landscaping in rooms with a mass presence of people. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2017; 72 (4): 94–101. (In Russian).

12. Antonov A.I., Shubin I.L., Yarovaya T.S. Propagation of direct sound in urban environment from objects with mass presence of people. *Biosfernaya sovместimost': chelovek, region, tekhnologii*. 2017; 19 (3): 105–112. (In Russian).
13. Antonov A.I., Yarovaya T.S. Direct sound from a large number of people calculated as from the same type of stochastic noise sources. In: *Proc. 3rd Int. Sci. Conf. 'Regional Development: Architecture, Construction, Transport'*. 2016. Pp. 64–67. (In Russian).
14. Antonov A.I., Yarovaya T.S. Dependence of average free path of sound on source position in a room with partitions of incomplete height. In: *Proc. 2nd All-Russ. Sci. Conf. 'Modern Science: Theory, Methodology, Practice'*, 2020. Pp. 75–78. (In Russian).
15. Shubin I.L., Antonov A.I., Yarovaya T.S. Noise calculations in A decibels in places of mass presence of people. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2018; 77 (3): 83–88. (In Russian).

#### Сведения об авторах

Яровая Татьяна Сергеевна, аспирант, Тамбовский государственный технический университет, 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112, корп. Е, [semshudes@yandex.ru](mailto:semshudes@yandex.ru)

Антонов Александр Иванович, докт. техн. наук, доцент, Тамбовский государственный технический университет, 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, д. 112, корп. Е; гл. науч. сотрудник, Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, 21, [aiant58@yandex.ru](mailto:aiant58@yandex.ru)

Матвеева Ирина Владимировна, канд. техн. наук, доцент, Тамбовский государственный технический университет, 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112, корп. Е, [times02@yandex.ru](mailto:times02@yandex.ru)

Соломатин Евгений Олегович, канд. техн. наук, доцент, Тамбовский государственный технический университет, 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112, корп. Е, [soloevg@yandex.ru](mailto:soloevg@yandex.ru)

#### Authors Details

Tat'yana S. Yarovaya, Research Assistant, Tambov State Technical University, 112, Michurinskaya Str., 392032, Tambov, Russia, [semshudes@yandex.ru](mailto:semshudes@yandex.ru)

Aleksandr I. Antonov, DSc, A/Professor, Tambov State Technical University, 112, Michurinskaya Str., 392032, Tambov, Russia; Research Institute of Building Physics RAACS, 21, Lokomotivnyi Ave., 127238, Moscow, Russia, [aiant58@yandex.ru](mailto:aiant58@yandex.ru)

Irina V. Matveeva, PhD, A/Professor, Tambov State Technical University, 112, Michurinskaya Str., 392032, Tambov, Russia, [times02@yandex.ru](mailto:times02@yandex.ru)

Evgeniy O. Solomatina, PhD, A/Professor, Tambov State Technical University, 112, Michurinskaya Str., 392032, Tambov, Russia, [soloevg@yandex.ru](mailto:soloevg@yandex.ru)

Статья поступила в редакцию 27.07.2022  
Одобрена после рецензирования 22.11.2022  
Принята к публикации 23.01.2023

Submitted for publication 27.07.2022  
Approved after review 22.11.2022  
Accepted for publication 23.01.2023