

## Громкость речи — параметр для оценки акустики учебных аудиторий

В. О. Жукова<sup>1,\*</sup>, Н. Г. Канев<sup>1,2†</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана  
Россия, 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5

<sup>2</sup>Акустический институт имени акад. Н. Н. Андреева  
Россия, 117036, г. Москва, ул. Шверника, 4

(Статья поступила 28.06.2017; Подписана в печать 12.09.2017)

В настоящей работе представлены результаты измерения акустических параметров учебных аудиторий МГТУ им. Баумана средней вместимости, предназначенных для проведения лекций и семинаров. Для характеристики акустики аудиторий выбраны следующие параметры: время реверберации, индекс передачи речи  $STI$ , а также уровень звука речи лектора, называемый в настоящей работе громкостью речи. Предложен параметр для характеристики пространственного распределения громкости речи. Параметр является нелокальным, поэтому в больших аудиториях оценка акустического качества по этому параметру оказывается дифференцированной. Предлагается простой метод измерения в натуральных условиях громкости речи с удалением от источника. Проанализирована связь данного параметра с другими акустическими параметрами аудиторий, а также с размерами и внутренней отделкой аудиторий.

PACS: 43.55.Gx

УДК: 534.84

Ключевые слова: акустика аудиторий, время реверберации, громкость, уровень звука.

### ВВЕДЕНИЕ

Аудитории ВУЗов являются помещениями с повышенными требованиями к акустическому качеству. Восприятие речевой информации, исходящей от лектора, должно быть хорошим во всех точках аудитории, где расположены места студентов. В нормативных документах [1] даются рекомендации только по времени реверберации аудиторий с привязкой к их объему. Исследования акустического качества аудиторий показывают, что одного времени реверберации явно недостаточно для полноценной оценки [2–4]. В настоящей статье рассматривается уровень звука речи лектора (называемый здесь громкостью речи) и его распределение по аудитории. Вводится акустический параметр  $GL$  — относительная громкость речи, позволяющий дать оценку акустического качества по критерию достаточности громкости речи для каждого места. Ниже подробно рассмотрим этот параметр, а также его связь с другими акустическими параметрами аудиторий.

### 1. ПАРАМЕТР $GL$

Определим параметр  $GL$  как разность между громкостью речи на некотором месте и громкостью речи на расстоянии 1 м перед источником. Очевидно, что на расстоянии 1 м значение параметра равно  $GL = 0$  дБ, на больших расстояниях он имеет отрицательные значения. Таким образом,  $GL$  характеризует насколько громкость речи лектора на слушательском месте ниже,

чем в непосредственной близости от лектора. Кроме этого, параметр  $GL$  не зависит от абсолютной громкости речи, поэтому зная голосовое усилие (т. е. уровень звука или уровень звукового давления в октавной полосе частот  $L_0$  на расстоянии 1 м от лектора) и измеренное значение параметра  $GL$  в некоторой точке, можно определить громкость речи  $L$  в любой точке

$$L = L_0 + GL. \quad (1)$$

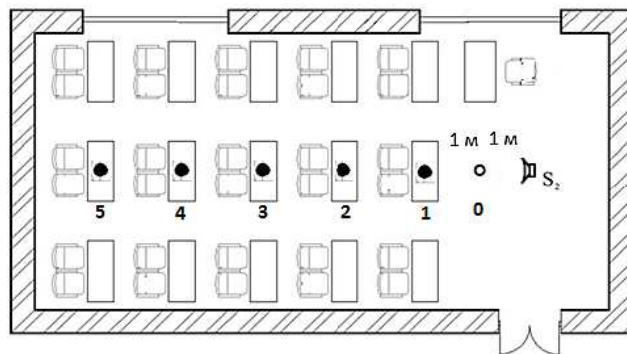


Рис. 1: Схема измерений параметра  $GL$  в аудитории

Зависимость  $GL$  от расстояния между лектором и слушателем представляет собой кривую пространственного снижения громкости речи.

Опишем кратко методику измерений параметра  $GL$ . В качестве источника используется небольшой динамик круглой формы с диаграммой направленности близкой к диаграмме направленности говорящего человека. Динамик устанавливается по центру аудитории на штатив для имитации стоящего у доски лектора, и на него подается широкополосный сигнал (розовый

\*E-mail: jukover@mail.ru

†E-mail: nikolay.kanev@mail.ru

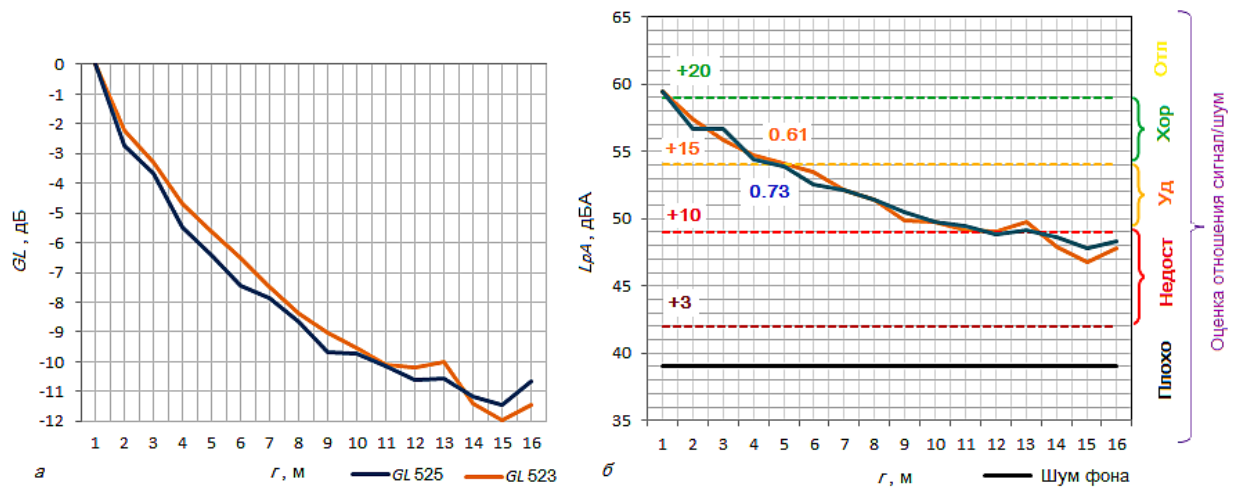


Рис. 2: Измеренный параметр  $GL$  (а) и кривые пространственного снижения громкости речи (б) в аудиториях 523 и 525. Время реверберации аудиторий указано рядом с кривыми соответствующим цветом

шум). Уровень звукового давления в октавных полосах частот 250–4000 Гц измеряется на расстоянии 1 м перед источником — опорная точка 0 на рис. 1. Затем приемник удаляется от излучателя по прямой линии, и измерения уровней звукового давления производится с шагом 1 м.

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерения параметра относительной громкости речи проведено в 9 аудиториях различного объема, размеров и вместимости. Для каждой из аудиторий был измерен параметр  $GL$  для пяти октавных полос частот 250–4000 Гц. В качестве примера на рис. 2,а приведены результаты измерения параметра на частоте 500 Гц для двух самых длинных аудиторий. По формуле (1) определены октавные уровни звукового давления в каждой точке измерения, по которым вычислена громкость речи  $L_{pA}$ . Для расчета принято стандартное голосовое усилие, которому соответствует уровень звука 60 дБА на расстоянии 1 м [5].

Таким образом, для каждой аудитории была получена кривая пространственного снижения громкости речи (для длинных аудиторий приведена рис. 2,б). Далее для оценки достаточности громкости производится сравнение полученных значений  $L_{pA}$  с уровнем фонового шума  $L_{nA}$ , т.е. отношение сигнал/шум  $SNR = L_{pA}/L_{nA}$ . При этом используются несколько качественных критериев:  $SNR > 20$  дБА (отлично),  $SNR > 15$  дБА (хорошо),  $SNR > 10$  дБА (удовлетворительно),  $SNR > 3$  дБА (недостаточно) [5]. В табл. 1 отношение  $SNR$  сопоставлено с другими измеренными параметрами аудиторий [6]: индексом разборчивости речи  $STI$  (минимальное по всем точкам измерений) и временем реверберации  $T_{mid}$  (среднее арифметическое значение времени реверберации на частотах 500 и 1000 Гц).

В табл. 1 жирным шрифтом отмечены аудитории, время реверберации которых значительно отличается от рекомендуемого согласно [1]. Индекс разборчивости речи и отношение сигнала к шуму взяты как наименьшие значения по аудиториям.

На рис. 2,б представлены кривые снижения громкости речи по длине аудитории для аудиторий 523 и 525, особенностью которых является достаточно большая длина, превышающая 17 м. Согласно рис. 2,а на самых удаленных местах снижение громкости речи составляет 11–12 дБА, при стандартном голосовом усилии на этих местах громкость речи составляет около 48 дБА. Источником фонового шума является автомобильный транспорт; уровень шума, проникающего через окна аудиторий, составляет 39 дБА. Сопоставление громкости речи с принятыми критериями превышения громкости речи над фоновым шумом показало, что аудитория имеет три зоны, имеющие различные качественные оценки: «хорошо» (1–5 м от лектора), «удовлетворительно» (5–12 м), «недостаточно» (12–17 м).

На рис. 3,а показаны графики пространственного снижения громкости речи для трех самых гулких аудиторий, времени реверберации которых имеют наибольшие значения. Снижение громкости речи в них минимально, параметр  $GL$  принимает значения от 0 до -5 дБА. На рис. 3,б кривые снижения громкости речи построены для аудиторий 739 и 839 одинаковых размеров, а также для аудитории 330 сопоставимой длины. Сравнение громкости речи в аудиториях с различным временем реверберации показывает ясную связь между этими параметрами: чем ниже время реверберации, тем сильнее снижается громкость речи при удалении от источника. В аудитории с наименьшим временем реверберации (0.66 с) максимальное снижение громкости составляет 10 дБА.

Рис. 4,а и рис. 4,б показывают влияние звукопоглощающего потолка на параметр  $GL$ . Аудитории 619

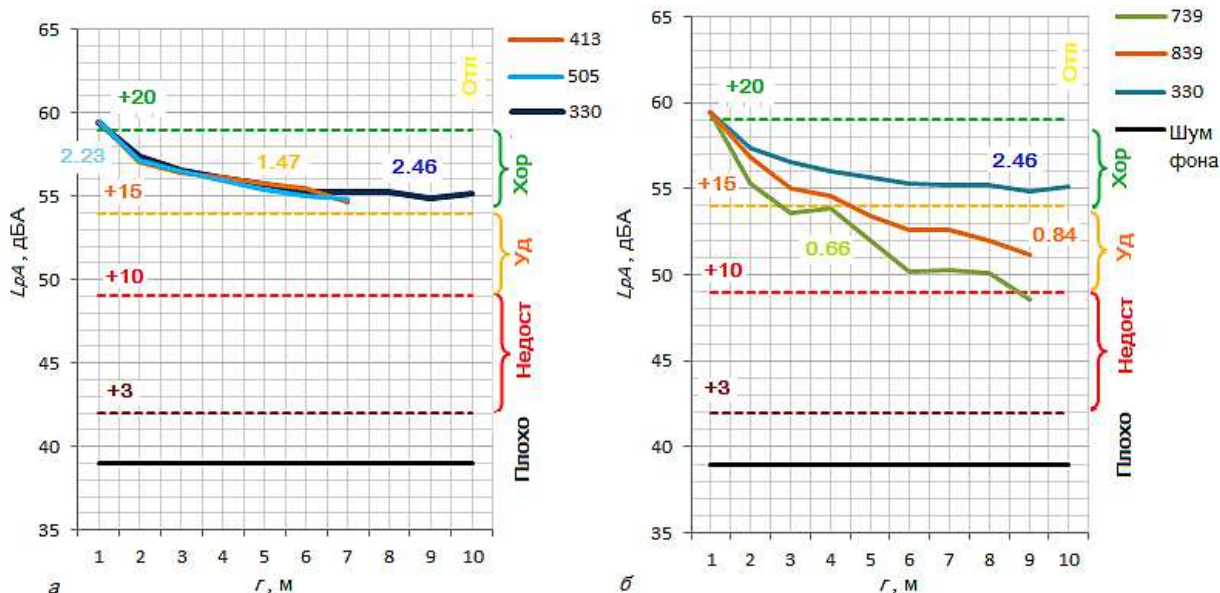


Рис. 3: Кривые пространственного снижения громкости речи в аудиториях 505, 413, 330 (а); 330, 739, 839 (б). Время реверберации аудиторий указано рядом с кривыми соответствующим цветом

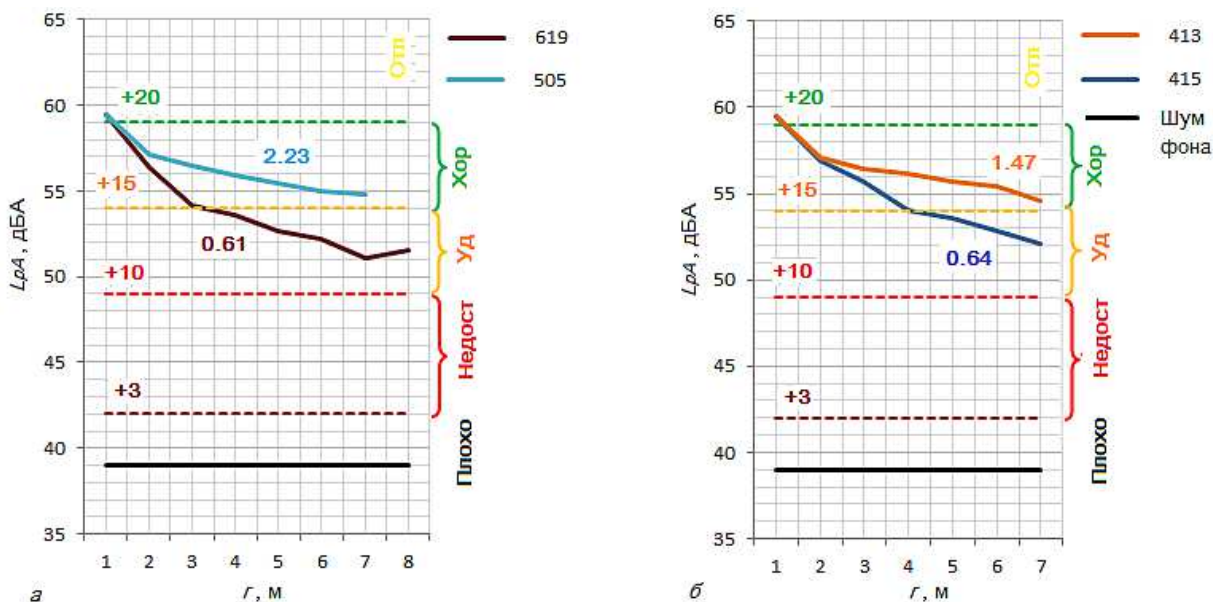


Рис. 4: Кривые пространственного снижения громкости речи в аудиториях 505, 619 (а); 415, 413 (б). Время реверберации аудиторий указано рядом с кривыми соответствующим цветом

и 505 имеют одинаковые размеры, как и аудитории 413 и 415, но в аудиториях 415 и 619 смонтирован подвесной акустический потолок, а в аудиториях 413 и 505 потолок бетонный. По этой причине время реверберации аудиторий существенно отличается. В аудиториях с большей гулкостью громкость речи выше и на всех местах имеет оценку «хорошо», при этом в заглушенных аудиториях на удаленных местах громкость речи становится удовлетворительной.

Влияние изменения уровня фонового шума представлено на рис. 5. При закрытых окнах уровень фонового шума составляет примерно 39 дБА (рис. 5,а). В аудиториях отсутствует система принудительной вентиляции, поэтому в теплое время года занятия часто проходят при открытых окнах, в этом случае уровень шума достигает 46 дБА (рис. 5,б). Таким образом, при открытии окна изменяется оценка акустического качества: на большинстве мест громкость речи становится неудовлетворительной.

Таблица I: Основные характеристики исследуемых аудиторий

№ ауд.	размеры, м	объем, м <sup>3</sup>	кол. мест	$RT_{mid}$ , с	$STI_{min}$	$SNR_{min}$ , дБА
415	3.4×6×8.7	175	54	0.64	0.58	13.1
413	3.5×6×8.7	177	60	1.47	0.47	15.6
517	3.4×6×17.7	314	81	0.61	0.62	7.8
525	3.4×6×17.7	357	120	0.73	0.57	8.9
505	3.3×8.4×8.8	242	54	2.09	0.46	15.8
330	4.2×7.9×11.5	377	91	2.44	0.41	15.9
619	3.3×8.4×8.8	179	46	0.61	0.75	12.1
839	2.8×5.9×12	198	50	0.84	0.72	12.2
739	2.8×5.9×12	198	70	0.67	0.71	9.5

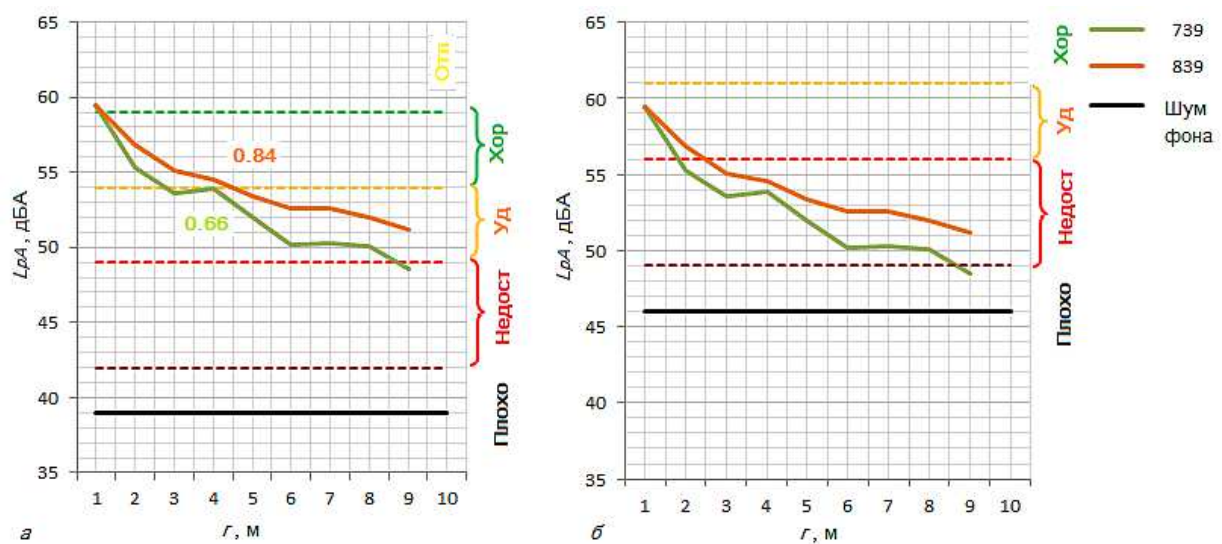


Рис. 5: Влияние внешнего уровня шума на расположение зон акустического комфорта в аудитории при а — закрытых и б — открытых окнах

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем исследовании продемонстрирована возможность применения предлагаемого параметра — относительной громкости речи для характеристики акустического качества аудиторий. Данный параметр может быть легко измерен в натуральных условиях, и с его помощью определяется громкость речи на всех местах слушателей. По результатам измерений нахо-

дится кривая пространственного снижения громкости речи, что позволяет оценить достаточность громкости речи на различных местах слушателей с учетом шумового воздействия. Нелокальность параметра приводит к разделению аудитории на зоны различного акустического комфорта. Особенно важна такая оценка для длинных аудиторий, снижение громкости речи по длине которых значительно, а уровень фонового шума достаточно высок.

[1] СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003. Москва, 2011.  
 [2] Канев Н. Г. Материалы Международной акустической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Е. Я. Юдина. Москва, 30 ноября 2014 г. С. 191.  
 [3] Bistařa S., Bradley J. J. Acoust. Soc. Am. 2000. **107**. P. 861.  
 [4] Hodgson M., Rempel R., Kennedy S. J. Acoust. Soc. Am.

1999. **105**. P. 226.  
 [5] ГОСТ Р ИСО 9921-2013. Эргономика. Оценка речевой связи.  
 [6] Жукова В. О. Сборник трудов Первой Всероссийской конференции молодых специалистов «Акустика среды обитания». Москва, 13 мая 2016 г. С. 66.

## Speech level as a parameter for evaluating classroom acoustics

V.O. Zhukova<sup>1,a</sup>, N.G. Kanev<sup>1,2,b</sup>

<sup>1</sup>*Bauman Moscow State Technical University. Moscow 105005, Russia.*

<sup>2</sup>*Andreyev Acoustics Institute. Moscow 117036, Russia*

*E-mail: <sup>a</sup>jukover@mail.ru, <sup>b</sup>nikolay.kanev@mail.ru*

In this paper we present measured acoustic parameters of BMSTU classrooms of average capacity, designed for holding lectures and seminars. To characterize the classroom acoustics following parameters are selected: the reverberation time, the speech transmission index *STI*, and the sound level of speech of the lecturer, which is called the speech level in this work. A parameter for characterizing the spatial speech level distribution has been proposed and investigated. The parameter is non-local, therefore the evaluation of acoustic quality by this parameter turns out to be differentiated in long classrooms. A simple method of measurement of speech level in real conditions at different distance from the source is proposed. The relationship of this parameter with other acoustic parameters of classrooms, sizes and internal finishing is analyzed.

PACS: 43.55. Gx

*Keywords:* classroom acoustics, reverberation time, speech intelligibility, speech level.

*Received 28 June 2017.*

### Сведения об авторах

1. Канев Николай Георгиевич — канд. физ.-мат. наук, доцент, науч. сотрудник АО «АКИН»; e-mail: nikolay.kanev@mail.

2. Жукова Вероника Олеговна — магистрант МГТУ им. Баумана; e-mail: jukover@mail.ru.