

УДК 534.79

ПРОСТОЙ СПОСОБ РАСЧЕТА УРОВНЯ ГРОМКОСТИ ШУМА

Индлин Ю. А.

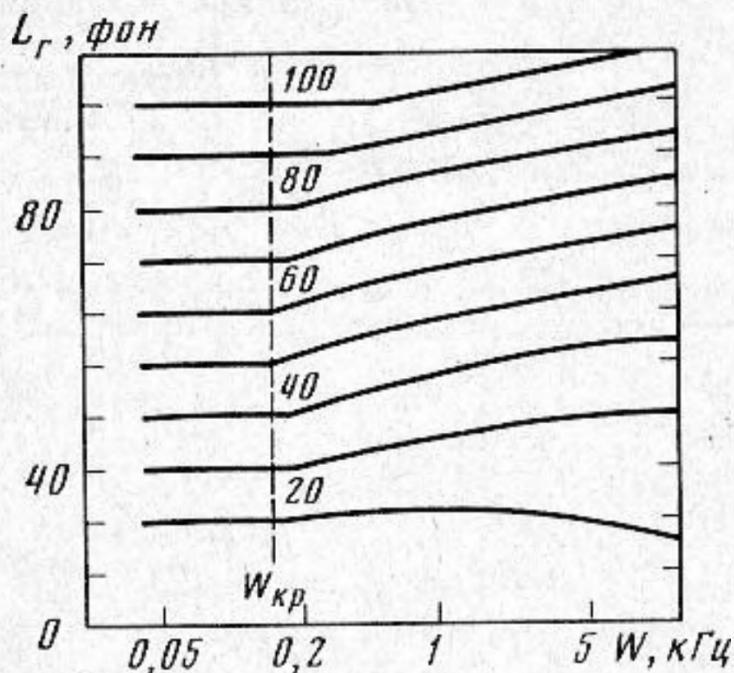
Предлагается способ расчета уровня громкости шума по двум объективно измеряемым параметрам: уровню шума и ширине его спектра, которая для сложного шума измеряется по спектрограмме, снятой $1/3$ октавными фильтрами, на уровне -24 дБ относительно уровня шума. Расчет по предлагаемому способу дал более точное, чем способы Цвикера и Стивенса, приближение к субъективно оцененным уровням громкости.

Уровень громкости шума может быть определен путем субъективного уравнивания его громкости с громкостью тона частоты 1 кГц или с громкостью шума с частотной полосой, равной критической полосе слуха, центрированной около 1 кГц [1]. Такое уравнение требует специальной аппаратуры, помещения, группы прослушивания и поэтому в большинстве практических случаев невозможно. Поэтому были разработаны измерительные и вычислительные способы, с помощью которых можно было, пользуясь объективно измеренными величинами, дать оценку субъективного уровня громкости.

Наиболее широкое признание получили способы расчета уровня громкости Цвикера [1, 2] и Стивенса [3]; они же рекомендованы к использованию международной организацией по стандартизации [4]. Оба способа базируются на положении о том, что громкость широкополосного шума складывается из громкостей составляющих его узкополосных шумов с учетом их взаимного влияния.

В настоящей работе предлагается новый способ, основанный на предположении о том, что при данной ширине полосы спектра сложного (неравномерного по энергетическому спектру) шума его громкость не зависит от формы спектра. Из этого предположения следует, что для расчета уровня громкости сложного шума можно воспользоваться известными данными, полученными для белого шума (фиг. 1) [1]. Эти данные однозначно связывают субъективно оцененный уровень громкости полос белого шума с шириной полосы шума и его уровнем. К примеру, белый шум с полосой $W=9$ кГц и уровнем $L=80$ дБ имеет, согласно фиг. 1, уровень громкости $L_r=93$ фон. Если громкость шума действительно не связана с формой его спектра, то уровень громкости сложного шума можно рассчитать точно таким же способом, как это было сделано для уровня громкости полосы белого шума; необходимо лишь определить понятие ширины полосы спектра сложного шума. Для этого воспользуемся литературными данными.

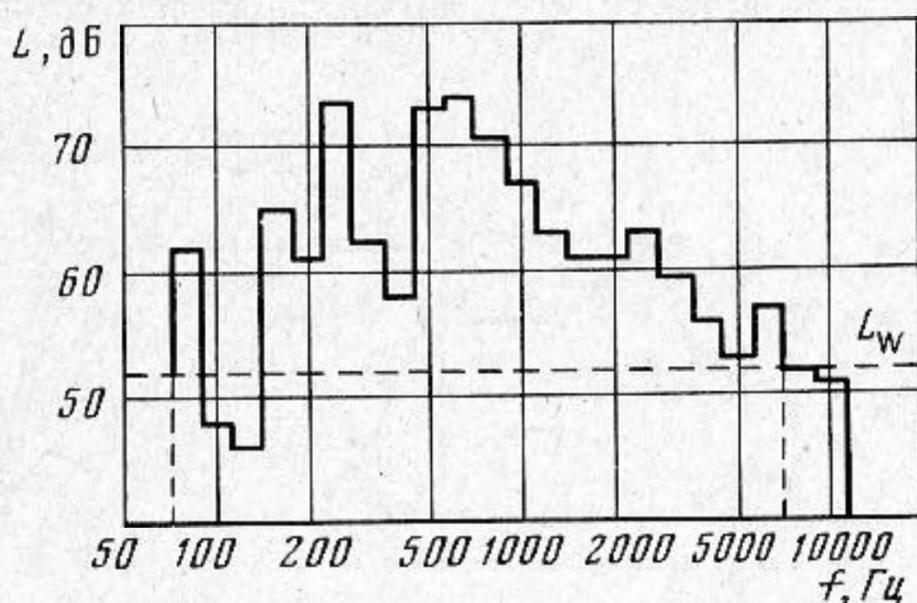
В работах [5, 6] из 89 записей на магнитную ленту различных шумов машин были отобраны образцы, существенно отличающиеся один от дру-



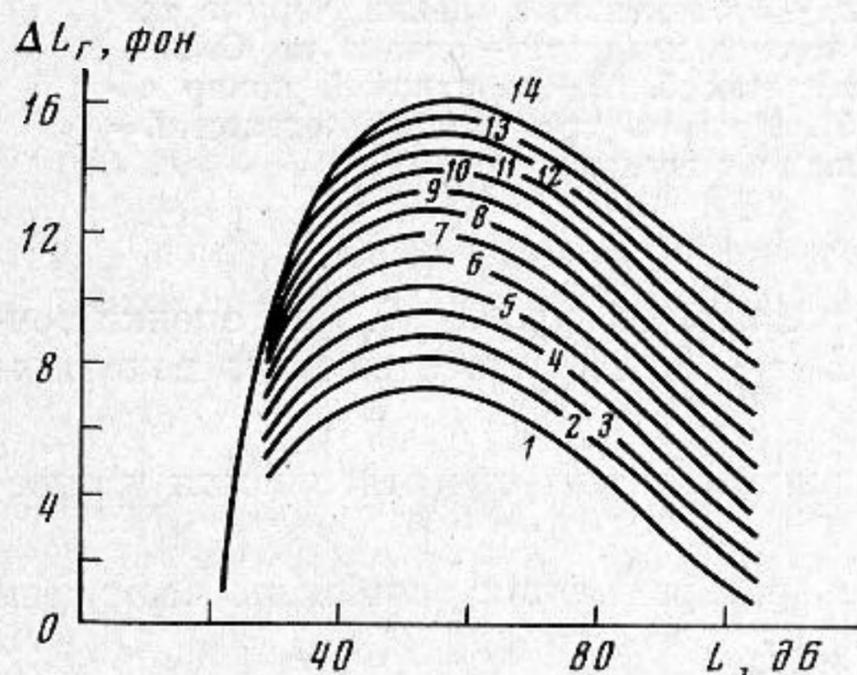
Фиг. 1. Кривые зависимости уровня громкости шума L_r от ширины его спектра W при средней геометрической частоте 1 кГц; параметр — уровень шума L . $W_{кр}=160$ Гц — ширина критической полосы слуха на частоте 1 кГц. Параметр кривых — уровень L в дБ

В работах [5, 6] из 89 записей на магнитную ленту различных шумов машин были отобраны образцы, существенно отличающиеся один от дру-

того как по форме спектра, так и на слух. Для этих шумов были проведены измерения субъективного уровня громкости ($L_{гс}$) методом уравнивания тремя организациями: институтом техники связи высшей технической школы в Штутгарте — в свободном поле, институтом технической акустики берлинского технического университета (TU) — на головных телефонах, и берлинским радио и телевизионным центром (RFZ) — в свободном поле. Были проведены также объективные измерения в месте прослушивания уровня в $1/3$ октавных полосах при уровне в полной полосе тракта (90 Гц — 11 кГц) $L=80$ дБ [5] и $L=74$ дБ [6]. Ширина спектра ука-

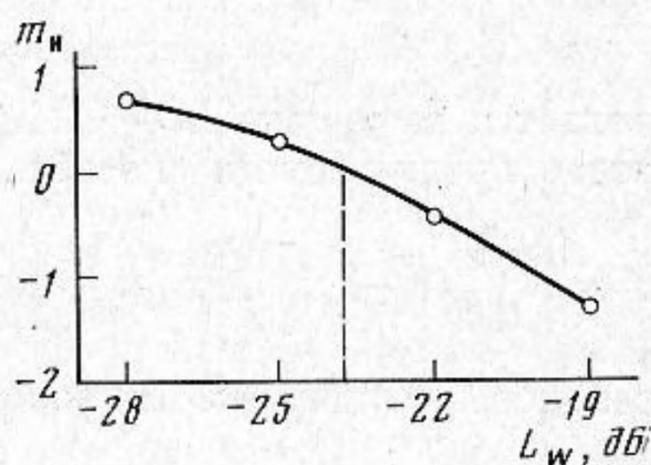


Фиг. 2. Спектрограмма шума I12 (в обозначениях [5]) в $1/3$ октавных полосах при уровне шума $L=80$ дБ; горизонтальная штриховая линия с параметром L_w проведена на уровне -28 дБ относительно L , вертикальные штриховые линии указывают на ширину спектра шума при $L_w = -28$ дБ



Фиг. 3

Фиг. 3. Кривые зависимости прироста ΔL_r уровня громкости широкополосного шума относительно уровня L , являющегося одновременно уровнем громкости узкополосного $W \leq W_{кр}$ шума, в функции от уровня L ; параметр кривых — ширина W полосы спектра, данная в граничных частотах $1/3$ октавных полос. 1 — $W=0,7$ кГц; 2 — 0,9; 3 — 1,1; 4 — 1,4; 5 — 1,8; 6 — 2,3; 7 — 2,8; 8 — 3,6; 9 — 4,5; 10 — 5,6; 11 — 7,1; 12 — 9; 13 — 11,3; 14 — $W=14,1$ кГц



Фиг. 4

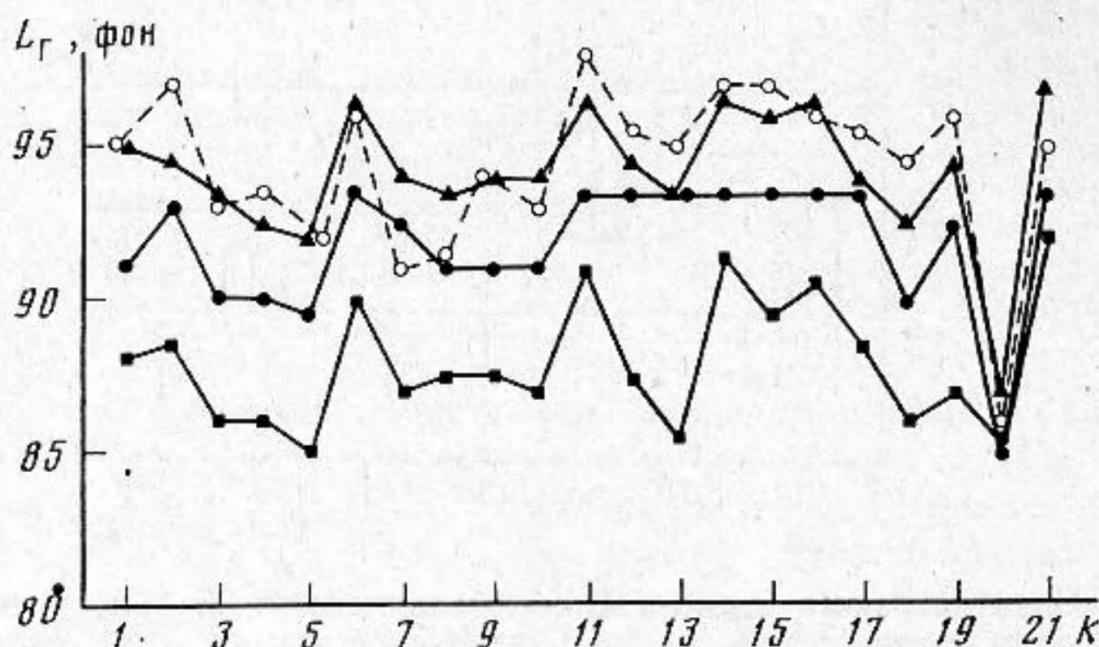
Фиг. 4. Зависимость средней ошибки m_n оценки уровня громкости согласно предлагаемому способу от уровня L_w , определяющего ширину W полосы сложного шума; вертикальная штриховая линия указывает на оптимальное значение L_w

занных шумов оценивалась нами максимальным спектральным интервалом W , в граничных $1/3$ октавных полосах которого измеренный уровень превышал величину L_w , отсчитываемую относительно уровня шума L (фиг. 2). При нескольких значениях L_w определялась ширина полосы W для каждого из шумов; по W и по известному уровню L с помощью фиг. 3, пересчитанной из фиг. 2 для удобства пользования, определялся прирост ΔL_r уровня громкости относительно уровня громкости узкополосного ($W \leq W_{кр}$) шума, совпадающего с уровнем L , и по формуле $L_{гн} = L + \Delta L_r$ находился уровень громкости. Далее оценивалась ошибка $\delta_i = L_{гн} - L_{гс}$ (где

i — порядковый номер шума), определялась средняя ошибка $\bar{\delta} = \sum_{i=1}^n \delta_i$

в экспериментах каждого института в отдельности (в Штуттгарте исследовалось 19 шумов: $n=19$, в *TU* $n=14$, в *RFZ* $n=10$), и, наконец, определялась средняя ошибка $m_n = (\bar{\delta}_1 + \bar{\delta}_2 + \bar{\delta}_3) / 3$.

Рассчитанная таким образом зависимость m_n от L_w приведена на фиг. 4. Из этих данных видно, что предлагаемый способ дает практически нулевую среднюю ошибку, если ширина полосы сложного шума оце-



Фиг. 5. Субъективные оценки уровня громкости, полученные в эксперименте в свободном поле в Штуттгарте, в сравнении с рассчитанными разными способами: белые кружки — субъективные оценки, черные треугольники — оценка по Цвикеру, черные квадраты — оценка по Стивенсу, черные кружки — предлагаемый способ, k — порядковый номер образца шума, соответствующий [5]. Уровень при воспроизведении $L = 80$ дБ для всех шумов

нивается на уровне $L_w = -24$ дБ относительно уровня L . Для оценки точности предлагаемого способа при $L_w = -24$ дБ рассчитывались величины

$$\sigma^2 = \left[\sum_{i=1}^n (\delta_i - \bar{\delta})^2 \right] / n$$

из данных каждого института в отдельности и определялось стандартное отклонение s_n распределения ошибок по всем трем

экспериментам из формулы $s_n = \left\{ \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 [\sigma_i^2 + (\bar{\delta}_i - m_n)^2] \right\}^{1/2}$. Проведенный

расчет дал $s_n = 2,64$ фон.

Для того чтобы оценить целесообразность использования предлагаемого способа, следует сравнить получаемые результаты с оценками, которые дают методы, принятые в настоящее время.

На фиг. 5—7 приведены такие оценки из [5, 6] вместе с оценками, полученными нашим способом. Приведенные результаты расчетов, аналогичных проведенным выше, представлены в таблице.

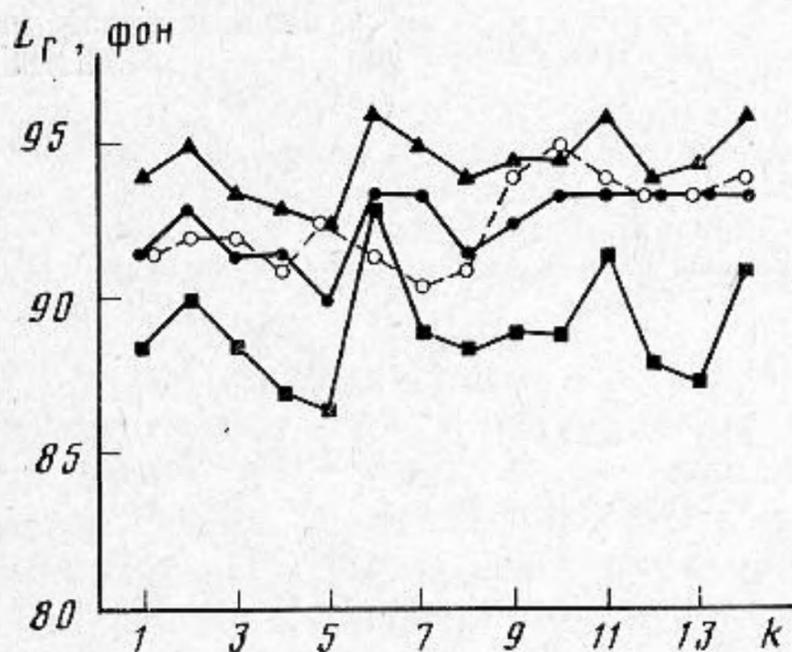
Сравнение статистик распределения ошибок оценок, даваемых разными способами

Способ	Статистика		
	m , фон	s , фон	s_0 , фон
Стивенса	-4,0	2,80	1,53
Цвикера	2,4	2,78	1,24
Предлагаемый нами	0,1	2,64	1,24

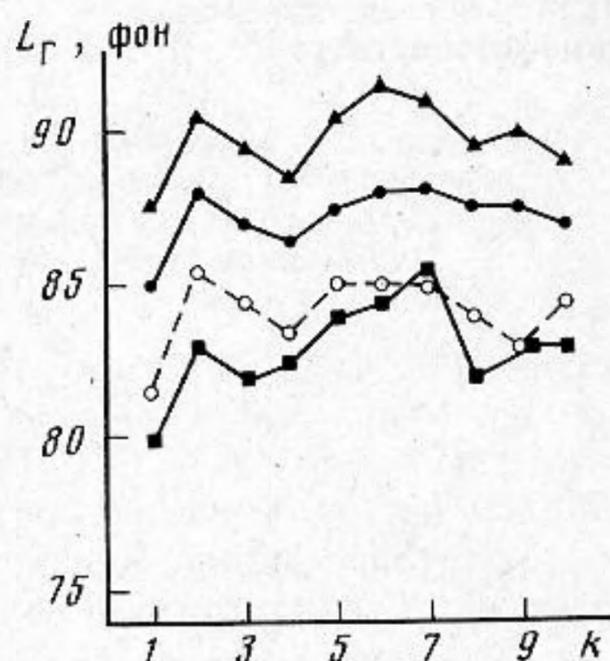
Из таблицы и из фиг. 5—7 видно, что способы Стивенса и Цвикера дают смещенную оценку субъективного уровня громкости ($m \neq 0$); первый недооценивает субъективную величину, второй — переоценивает. Предлагаемый способ дает практически несмещенную оценку субъективного уровня громкости ($m \approx 0$).

Стандартное отклонение s распределения ошибок по всем трем экспериментам, характеризующее разброс относительно своего среднего m , менее всего при нашем способе.

Следует отметить, что величина s слишком велика для всех трех способов. Это вызвано довольно большим расхождением субъективных оце-



Фиг. 6



Фиг. 7

Фиг. 6. Субъективные оценки уровня громкости, полученные в *TU* на головных телефонах, в сравнении с рассчитанными разными способами; обозначения, как на фиг. 5. $L=80$ дБ

Фиг. 7. Субъективные оценки уровня громкости, полученные в *RFZ* в свободном поле, в сравнении с рассчитанными разными способами; обозначения, как на фиг. 5. Порядковые номера образцов шума соответствуют [6]. $L=74$ дБ

нок в экспериментах, проводимых разными институтами. Причины такого расхождения не ясны, однако сам факт его существования подчеркивает отмеченную выше сложность проведения субъективных испытаний. Стандартное отклонение распределения ошибок, которое не зависит от расхождения (в среднем) между результатами, полученными разными институтами, будет характеризоваться величиной $s_0 = [(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2)/3]^{1/2}$ (найденно из предыдущей формулы при $\delta_1 = \delta_2 = \delta_3$), существенно меньшей, чем s , для каждого из способов (см. таблицу). По этому параметру способ Стивенса заметно уступает двум другим.

Проведенный нами анализ касался шумов весьма различных по спектру, но одинаково большого уровня. Исследования 10 шумов на более низком уровне ($L=40$ дБ) были дополнительно проведены в Штуттгарте. Субъективные величины оценки по Цвикеру и Стивенсу, а также по нашему способу при $L=40$ дБ соотносятся между собой примерно так же, как результаты, полученные этим институтом при $L=80$ дБ (фиг. 5).

В заключение можно сформулировать ряд выводов.

Уровень громкости шума, в том числе сложного, однозначно определен уровнем шума и шириной его полосы спектра, оцениваемой на уровне -24 дБ относительно уровня шума, и практически не зависит от формы спектра.

Предлагаемый способ расчета уровня громкости шума по его уровню и ширине полосы дает результаты, в среднем более близкие к субъективным оценкам, чем известные способы Цвикера и Стивенса.

Расчет согласно предлагаемому способу существенно проще и требует значительно меньше времени, чем расчеты по Цвикеру и Стивенсу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цвикер Э., Фельдкеллер Р. Ухо как приемник информации. М.: Изд-во Связь, 1971, с. 137, 204–220.
2. Zwicker E. Über psychologische und methodische Grundlagen der Lautheit.— Akustische Beihefte, 1958, B. 8, № 1, S. 237–258.
3. Stevens S. S. Procedure for calculating loudness: Mark VI.— J. Acoust. Soc. Amer., 1961, v. 33, № 11, p. 1577–1585.
4. ISO R.532.
5. Lübcke E., Mittag G., Port E. Subjektive und objektive Bewertung von Maschinen-geräuschen.— Acustica, 1964, v. 14, № 2, p. 105–114.
6. Jahn M. Subjektive und objektive Bewertung von Maschinengeräuschen.— Acustica, 1965/66, v. 16, № 3, p. 175–186.

Научно-исследовательский
кинофотоинститут

Поступила в редакцию
4.IX.1981