ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО 226— 2009

Акустика

СТАНДАРТНЫЕ КРИВЫЕ РАВНОЙ ГРОМКОСТИ

ISO 226:2003
Acoustics — Normal equal-loudness-level contours
(IDT)

Издание официальное

БЗ 9—2009/555

Москва
Стандартинформ
2010

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения национальных стандартов Российской Федерации — ГОСТ Р 1.0—2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Автономной некоммерческой организацией «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (АНО «НИЦ КД») на основе собственного аутентичного перевода стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 358 «Акустика»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2009 г. № 863-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 226:2003 «Акустика. Стандартные кривые равной громкости» (ISO 226:2003 «Acoustics — Normal equal-loudness-level contours»)

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные стандарты Российской Федерации и межгосударственные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячно издаваемых информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет

© Стандартинформ, 2010

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 1
4 Формулы для построения стандартных кривых равной громкости 2
4.1 Расчет УЗД по уровню громкости 2
4.2 Расчет уровней громкости по УЗД 3
Приложение А (обязательное) Стандартные кривые равной громкости чистых тонов при прослушивании в условиях свободного звукового поля 4
Приложение В (обязательное) Таблицы стандартных кривых равной громкости чистых тонов при прослушивании в условиях свободного звукового поля 5
Приложение С (справочное) Комментарии к методу построения стандартных кривых равной громкости 7
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочного международного стандарта ссылочному национальному стандарту Российской Федерации (и действующему в этом качестве межгосударственному стандарту) 14
Библиография 15

Введение

Кривые в координатах «частота — уровень звукового давления», определяющие совокупность чистых тонов, воспринимаемых равными по громкости, выражают фундаментальные свойства слуха человека и являются основой психоакустики. Порог слышимости в свободном и диффузном звуковых полях и кривые равной громкости были введены ИСО 226:1987.

Примечание — Равные уровни громкости могут быть определены и для частотных полос шума. Однако настоящий стандарт устанавливает кривые равной громкости только чистых тонов, так как для построения кривых в частотных полосах недостаточно данных, но он может быть применен для шума в третьоктавных/октавных полосах.

В ходе пересмотра настоящего стандарта ввиду необходимости установления порогов слышимости и выявившейся недостаточности данных об уровнях громкости принято решение разделить пороговые и не относящиеся к порогам слышимости данные на два отдельных документа. Пороги слышимости установлены ИСО 389-7:1996 «Акустика. Опорный нуль для калибровки аудиометрического оборудования. Часть 7. Опорные пороги слышимости в условиях свободного и диффузного звукового поля» как части серии международных стандартов, относящихся к опорным нулевым значениям для калибровки аудиометрического оборудования. Кривые равной громкости представлены в настоящем стандарте. Они уточнены по сравнению с ИСО 226:1987.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Акустика

СТАНДАРТНЫЕ КРИВЫЕ РАВНОЙ ГРОМКОСТИ

Acoustics. Normal equal-loudness-level contours

Дата введения — 2010—12—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает совокупности уровня звукового давления (далее — УЗД) и частоты непрерывных чистых тонов, воспринимаемых испытуемыми, равными по громкости. Устанавливаемые значения получены при следующих условиях:

a) звуковое поле при отсутствии испытуемого образовано свободно распространяющейся плоской волной;

b) источник звука находится прямо перед испытуемым;

c) звуковые сигналы являются чистыми тонами;

d) УЗД измеряют в точке расположения центра головы испытуемого, но при его отсутствии;

e) прослушивание является бинауральным;

f) испытуемыми являются люди с нормальным слухом в возрасте от 18 до 25 лет включительно.

В приложении А в графическом виде и в табличном в приложении В приведены данные для третьоктавного ряда частот от 20 до 12500 Гц включительно в соответствии с ИСО 266.

2 Нормативные ссылки

Следующий ссылочный стандарт является обязательным для применения настоящего стандарта. Недатированную ссылку относят к последней редакции ссылочного стандарта, включая его изменения.

ИСО 266 Акустика. Предпочтительные частоты (ISO 266, Acoustics — Preferred frequencies)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **человек с нормальным слухом** *(otologically normal person)*: Человек с нормальным состоянием здоровья, не имеющий симптомов ушных болезней, без серных пробок в ушных каналах, не подвергавшийся в прошлом чрезмерному воздействию звука, токсичных для ушей веществ и не имеющий в роду наследственной потери слуха.

3.2 **свободное звуковое поле** *(free sound field)*: Звуковое поле, в котором влиянием ограждающих поверхностей помещения на звуковые волны можно пренебречь.

3.3 **уровень громкости** *(loudness level)*: Величина в фонах, численно равная УЗД опорного звука в децибелах, созданного фронтально падающей плоской бегущей синусоидальной волной частотой 1000 Гц, громкость которого равна громкости оцениваемого звука.

3.4 **соотношение равной громкости** *(equal-loudness relationship)*: Кривая или функция, выражающая связь между уровнем громкости и УЗД чистого тона на данной частоте.

Издание официальное

3.5 **кривая равной громкости** *(equal-loudness-level contour)*: График в координатах «УЗД — частота», ординаты точек которого соответствуют частоте чистых тонов, воспринимаемых равными по громкости.

3.6 **стандартная кривая равной громкости** *(normal equal-loudness-level contour)*: Кривая равной громкости, построенная по усредненным ощущениям людей с нормальным слухом в возрасте от 18 до 25 лет включительно.

Примечание — Метод построения стандартных кривых равной громкости приведен в приложении С.

3.7 **порог слышимости** *(threshold of hearing)*: УЗД, при котором испытуемый в 50 % случаев повторных испытаний, соответствующих определенным условиям, правильно указывает наличие звука.

4 Формулы для построения стандартных кривых равной громкости

4.1 Расчет УЗД по уровню громкости

УЗД L_p, дБ, чистого тона частотой f, имеющий уровень громкости L_N, фон, рассчитывают по формуле

$$L_p = \frac{10}{\alpha_f} \lg A_f - L_U + 94, \qquad (1)$$

где $A_f = 4{,}47 \cdot 10^{-3} \cdot (10^{0{,}025 L_N} - 1{,}15) + \left[0{,}4 \cdot 10^{\left(\frac{T_f + L_U}{10} - 9\right)}\right]^{\alpha_f}$,

T_f — порог слышимости;

α_f — показатель экспоненты для ощущения громкости;

L_U — модуль передаточной функции линейной системы, нормированный на частоте 1000 Гц.

Значения данных величин приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Значения параметров для расчета стандартных кривых равной громкости по формуле (1)

Частота f, Гц	α_f	L_U, дБ	T_f, дБ	Частота f, Гц	α_f	L_U, дБ	T_f, дБ
20	0,532	–31,6	78,5	630	0,259	0,3	3,0
25	0,506	–27,2	68,7	800	0,253	0,5	2,2
31,5	0,480	–23,0	59,5	1000	0,250	0,0	2,4
40	0,455	–19,1	51,1	1250	0,246	–2,7	3,5
50	0,432	–15,9	44,0	1600	0,244	–4,1	1,7
63	0,409	–13,0	37,5	2000	0,243	–1,0	–1,3
80	0,387	–10,3	31,5	2500	0,243	1,7	–4,2
100	0,367	–8,1	26,5	3150	0,243	2,5	–6,0
125	0,349	–6,2	22,1	4000	0,242	1,2	–5,4
160	0,330	–4,5	17,9	5000	0,242	–2,1	–1,5
200	0,315	–3,1	14,4	6300	0,245	–7,1	6,0
250	0,301	–2,0	11,4	8000	0,254	–11,2	12,6
315	0,288	–1,1	8,6	10000	0,271	–10,7	13,9
400	0,276	–0,4	6,2	12500	0,301	–3,1	12,3
500	0,267	0,0	4,4				

Формулу (1) применяют на всех частотах для значений уровня громкости, превышающих 20 фон, но меньших указанных ниже пределов:

90 фон для частот от 20 до 4000 Гц;

80 фон для частот от 5000 до 12500 Гц.

Вследствие недостатка экспериментальных данных для уровней громкости менее 20 фон, а также для уровней громкости в интервале от 90 до 100 фон в диапазоне частот от 20 до 1000 Гц (имеются данные только одной исследовательской организации для значения 100 фон) формула (1) может служить лишь для ориентировочной оценки УЗД.

4.2 Расчет уровней громкости по УЗД

Уровень громкости L_N, фон, чистого тона частотой f с УЗД L_p, дБ, рассчитывают по формуле

$$L_N = 40 \lg B_f + 94, \qquad (2)$$

где

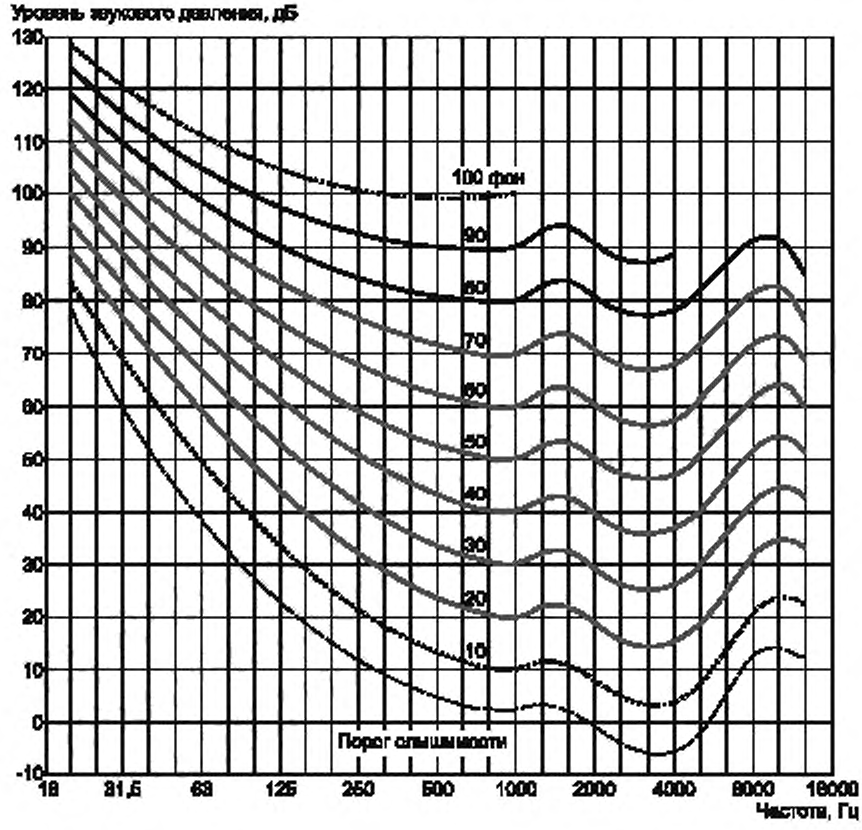
$$B_f = \left[0{,}4 \cdot 10^{\left(\frac{L_p + L_U}{10} - 9\right)}\right]^{\alpha_f} - \left[0{,}4 \cdot 10^{\left(\frac{T_f + L_U}{10} - 9\right)}\right]^{\alpha_f} + 0{,}005135,$$

T_f, α_f и L_U приведены по 4.1.

При расчете по формуле (2) имеют место те же ограничения, что при расчетах по формуле (1).

Приложение А
(обязательное)

Стандартные кривые равной громкости чистых тонов при прослушивании в условиях свободного звукового поля



Примечания:

1 График порога слышимости T_f изображен пунктирной линией.

2 Кривая с уровнем громкости 10 фон изображена точками, так как недостаточно данных в интервале от порога слышимости до 20 фон. Кривая с уровнем громкости 100 фон также изображена точками, так как для ее построения имеются данные только одной исследовательской организации.

Рисунок А.1 — Стандартные кривые равной громкости чистых тонов (бинауральное прослушивание в свободном звуковом поле, фронтальное падение звука на испытуемого)

Приложение В
(обязательное)

Таблицы стандартных кривых равной громкости чистых тонов при прослушивании в условиях свободного звукового поля

Таблица В.1 — УЗД, соответствующий заданному уровню громкости чистых тонов, в диапазоне частот от 20 до 12500 Гц

Уровень громкости, фон	УЗД, дБ									
	Частота, Гц									
	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160
10	(83,8)	(75,8)	(68,2)	(61,1)	(55,0)	(49,0)	(43,2)	(38,1)	(33,5)	(28,8)
20	89,6	82,7	76,0	69,6	64,0	58,6	53,2	48,4	43,9	39,4
30	94,8	88,5	82,4	76,5	71,3	66,2	61,2	56,8	52,5	48,4
40	99,9	93,9	88,2	82,6	77,8	73,1	68,5	64,4	60,6	56,7
50	104,7	99,1	93,7	88,5	84,0	79,6	75,4	71,6	68,2	64,7
60	109,5	104,2	99,1	94,2	90,0	85,9	82,1	78,7	75,6	72,5
70	114,3	109,2	104,4	99,8	95,9	92,2	88,6	85,6	82,9	80,2
80	119,0	114,2	109,6	105,3	101,7	98,4	95,2	92,5	90,1	87,8
90	123,7	119,2	114,9	110,9	107,5	104,5	101,7	99,3	97,3	95,4
100	(128,4)	(124,2)	(120,1)	(116,4)	(113,4)	(110,6)	(108,2)	(106,2)	(104,5)	(103,0)

Продолжение таблицы В.1

Уровень громкости, фон	УЗД, дБ									
	Частота, Гц									
	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600
10	(24,8)	(21,3)	(18,1)	(15,1)	(13,0)	(11,2)	(10,0)	10,0	(11,3)	(10,4)
20	35,5	32,0	28,7	25,7	23,4	21,5	20,1	20,0	21,5	21,4
30	44,8	41,5	38,4	35,5	33,4	31,5	30,1	30,0	31,6	32,0
40	53,4	50,4	47,6	45,0	43,1	41,3	40,1	40,0	41,8	42,5
50	61,7	59,0	56,5	54,3	52,6	51,1	50,0	50,0	52,0	52,9
60	69,9	67,5	65,4	63,5	62,1	60,8	59,9	60,0	62,2	63,2
70	77,9	75,9	74,2	72,6	71,5	70,5	69,8	70,0	72,3	73,5
80	85,9	84,3	82,9	81,7	80,9	80,2	79,7	80,0	82,5	83,7
90	93,9	92,6	91,6	90,8	90,2	89,8	89,6	90,0	92,6	94,0
100	(101,8)	(101,0)	(100,3)	(99,8)	(99,6)	(99,5)	(99,4)	100,0	—	—

Окончание таблицы В.1

Уровень громкости, фон	УЗД, дБ								
	Частота, Гц								
	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	12500
10	(7,3)	(4,5)	(3,0)	(3,8)	(7,5)	(14,3)	(21,0)	(23,4)	(22,3)
20	18,2	15,4	14,3	15,1	18,6	25,0	31,5	34,4	33,0
30	28,8	26,0	25,0	26,0	29,4	35,5	41,7	44,6	42,5
40	39,2	36,5	35,6	36,6	40,0	45,8	51,8	54,3	51,5
50	49,6	46,9	46,1	47,1	50,5	56,1	61,8	63,8	60,1
60	60,0	57,3	56,4	57,6	60,9	66,4	71,7	73,2	68,6
70	70,3	67,6	66,8	68,0	71,3	76,6	81,5	82,5	77,0
80	80,6	77,9	77,1	78,3	81,6	86,8	91,4	91,7	85,4
90	90,9	88,2	87,4	88,7	—	—	—	—	—
100	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание — Значения в скобках приведены только для сведения.

Таблица В.2 — Уровни громкости, соответствующие заданному УЗД чистых тонов в диапазоне частот от 20 до 12500 Гц

УЗД, дБ	Уровень громкости, фон									
	Частота, Гц									
	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160
0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	—	—	—	—	—	—	—	(4,3)	(7,3)	(11,1)
40	—	—	—	—	—	—	(7,5)	(11,6)	(16,0)	20,7
50	—	—	—	—	(6,0)	(10,9)	(16,5)	21,9	26,9	31,9
60	—	—	—	(8,9)	(15,2)	21,8	28,4	34,2	39,3	44,1
70	—	—	(12,1)	20,6	28,2	35,5	42,2	47,8	52,5	56,8
80	(4,4)	(15,9)	26,2	35,7	43,6	50,7	57,0	62,0	66,1	69,8
90	20,8	32,7	43,3	52,7	60,1	66,5	72,1	76,4	79,9	82,9
100	40,3	51,7	61,8	70,4	77,1	82,7	87,5	(91,0)	(93,8)	(96,1)
110	61,1	71,6	80,7	88,5	(94,3)	(99,0)	—	—	—	—
120	82,2	(91,7)	(99,8)	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение таблицы В.2

УЗД, дБ	Уровень громкости, фон									
	Частота, Гц									
	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600
0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	—	(5,5)	(7,3)	(8,9)	(10,0)	10,0	(8,8)	(9,6)
20	(6,2)	(8,9)	(11,8)	(14,5)	(16,7)	(18,6)	(19,9)	20,0	(18,6)	(18,7)
30	(14,6)	(18,0)	21,3	24,4	26,6	28,5	29,9	30,0	28,4	28,1
40	24,8	28,4	31,8	34,7	36,9	38,7	40,0	40,0	38,2	37,6
50	36,0	39,6	42,7	45,4	47,3	48,9	50,0	50,0	48,1	47,3
60	47,9	51,2	53,9	56,3	57,9	59,2	60,1	60,0	57,9	56,9
70	60,2	63,0	65,3	67,2	68,5	69,5	70,3	70,0	67,8	66,7
80	72,6	74,9	76,7	78,2	79,1	79,9	80,4	80,0	77,6	76,4
90	85,2	86,9	88,2	89,2	89,8	(90,2)	(90,5)	90,0	87,4	86,1
100	(97,7)	(98,9)	(99,7)	—	—	—	—	100,0	—	—
110	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Окончание таблицы В.2

УЗД, дБ	Уровень громкости, фон								
	Частота, Гц								
	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	12500
0	—	(6,1)	(7,4)	(6,8)	—	—	—	—	—
10	(12,5)	(15,1)	(16,2)	(15,4)	(12,3)	(6,0)	—	—	—
20	21,8	24,3	25,3	24,5	21,3	(15,3)	(9,1)	(7,1)	(8,1)
30	31,2	33,8	34,7	33,8	30,6	24,8	(18,6)	(15,9)	(17,0)
40	40,8	43,4	44,2	43,2	40,0	34,4	28,3	25,5	27,3
50	50,4	53,0	53,8	52,8	49,6	44,1	38,2	35,6	38,3
60	60,1	62,7	63,5	62,4	59,2	53,8	48,3	46,0	49,9
70	69,8	72,4	73,2	72,0	68,8	63,6	58,4	56,7	61,7
80	79,5	82,1	82,9	81,7	78,5	73,4	68,5	67,4	73,6
90	89,2	—	—	—	—	—	78,6	78,2	—
100	—	—	—	—	—	—	—	—	—
110	—	—	—	—	—	—	—	—	—
120	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание — Значения в скобках приведены только для сведения.

Приложение С
(справочное)

Комментарии к методу построения стандартных кривых равной громкости

С.1 Экспериментальные данные

Стандартные кривые равной громкости чистых тонов при прослушивании в условиях свободного звукового поля, устанавливаемые ИСО 226, получены по результатам 12 независимых исследований [1]—[12]. В большинстве случаев условия экспериментов по требованиям к испытательным воздействиям и испытуемым лицам удовлетворяли рекомендуемым (см. [13]). Отклонения от рекомендуемых условий испытаний могут быть признаны несущественными. Отличительные особенности исследований приведены в таблице С.1.

С.2 Расчетные формулы

Кривые равной громкости строят в координатах «частота — УЗД». Поскольку экспериментальные данные для построения кривых дискретны, они должны соответствующим образом интерполироваться. Для этого строят модельную функцию, представляющую собой соотношение равной громкости. Значения параметров этой функции получают по экспериментальным данным методом наименьших квадратов.

Интерполяция по оси УЗД выполнялась с помощью модельной функции громкости. Функция громкости представляет собой зависимость громкости звука от его УЗД. В качестве модельной функции громкости чистого тона l могут быть взяты, очевидно, функции различного вида. В настоящем стандарте использована функция:

$$l = c\,(p^{2\theta} - p_t^{2\theta}), \qquad (С.1)$$

где c — размерная постоянная;

p — звуковое давление чистого тона;

θ — показатель экспоненты восприятия громкости;

p_t — звуковое давление, соответствующее порогу слышимости.

Данная функция приведена в [14] и [15] и, несмотря на простоту, хорошо описывает громкость чистого тона при условии отсутствия маскирующего шума (см. [16]).

Кроме того, в [17] отмечается, что при оценке громкости имеют место два процесса: «процесс восприятия громкости» и «процесс численной оценки». В соответствии с этим предложена двухзвенная модель, в которой результаты обоих процессов описаны раздельным преобразованием звуковой энергии. Более того, в реальной слуховой системе излученный источником звук преобразуется передаточной функцией некоторой линейной системы, включающей в себя передаточную функцию головы человека, передаточные функции наружного и среднего уха, а также линейной механической части внутреннего уха. Передаточная функция данной линейной системы исчерпывающе описывает передаточную функцию между источником звука и восприятием громкости. В соответствии с вышесказанным процесс оценки громкости представляют состоящим из трех частей:

- преобразование звука линейной системой;
- восприятие громкости;
- численная оценка громкости.

На рисунке С.1 приведена блок-схема описанной модели.

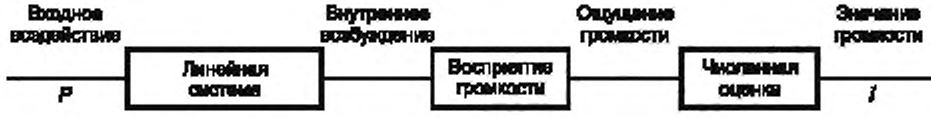


Рисунок С.1 — Блок-схема модели процесса оценки громкости

Громкость в соответствии с данной моделью и функцией громкости (С.1) рассчитывают по формуле

$$l = b\,[c\,\{(Up)^{2\alpha} - (Up_t)^{2\alpha}\}]^{\beta}, \qquad (С.2)$$

где U — объединенная передаточная функция линейной системы;

c — объединенная размерная постоянная;

α — показатель экспоненты «процесса восприятия громкости»;

b и β — аналогичные параметры «процесса численной оценки».

Таблица С.1 — Описание исследований стандартных кривых равной громкости чистых тонов

Наименование данных	Значение по [1]	Значение по [2]	Значение по [3]	Значение по [4]
Год	1983	1984	1989	1989
Страна	Дания	Дания	Германия	Германия
Звуковое поле	Поле давления[b)]	Поле давления[b)]	Свободное звуковое поле	Свободное звуковое поле
Диапазон измерений[a)]	20 фон: от 2 до 63 Гц 40 фон: от 2 до 63 Гц 60 фон: от 2 до 63 Гц 80 фон: от 8 до 63 Гц 100 фон: от 31,5 до 63 Гц	20 фон: от 2 до 63 Гц 40 фон: от 2 до 63 Гц 60 фон: от 2 до 63 Гц 80 фон: от 4 до 63 Гц 100 фон: от 16 до 63 Гц	Порог слышимости: от 40 до 15000 Гц 30 фон: от 100 до 1000 Гц 40 фон: от 50 до 12500 Гц 50 фон: от 50 до 12500 Гц 60 фон: от 50 до 12500 Гц	Порог слышимости: от 63 до 12500 Гц 20 фон: от 63 до 12500 Гц 40 фон: от 125 до 8000 Гц 70 фон: от 125 до 12500 Гц
Число испытуемых (возраст)	14 (от 18 до 25)	20 (от 18 до 25)	От 13 до 49 (от 17 до 25)	От 9 до 32 (от 19 до 25)
Экспериментальный метод	Последовательный метод максимального правдоподобия	Последовательный метод максимального правдоподобия	Метод стационарного возбуждения	Метод стационарного возбуждения
Опорный (эталонный) тон	63 Гц постоянного уровня	63 Гц постоянного уровня	1000 Гц постоянного уровня	1000 Гц постоянного уровня
Уровень испытательного тона	Выбирался случайно в зависимости от μ и $\mu + \sigma$ [c)]	Выбирался случайно в зависимости от μ, $\mu \pm \sigma$ и $\mu \pm 2\sigma$ [c)]	7 уровней с интервалом 5 дБ	9 уровней с интервалами от 1,5 до 4,5 дБ
Длительность тона	2 с	2 с	1 с	1 с
Последовательность тонов в паре	Опорный тон предъявляется первым	В случайном порядке	В случайном порядке	В случайном порядке
Число мнений в критерии однократного включения/выключения	Когда оператор почувствовал, что оценка PSE выполнена с необходимой точностью	Когда пять возможных уровней для данного испытания уже были представлены	7 уровней испытательного тона × 3 = 21 мнение	9 уровней испытательного тона × 20 = 180 мнений
PSE-оценка (Power Spectrum Envelope — огибающая спектра мощности)	Оценка максимального правдоподобия	Оценка максимального правдоподобия	При коэффициенте громкости отклика, равном 50 %	Оценка максимального правдоподобия
Примечание	Уровень опорного тона определялся индивидуально по результату сравнения громкости между опорным тоном на частоте 1000 Гц и испытательным тоном на частоте 63 Гц	Уровень опорного тона определялся индивидуально по результату сравнения громкости между опорным тоном на частоте 1000 Гц и испытательным тоном на частоте 63 Гц	Уровни испытательного тона между испытаниями изменялись на 2,5 дБ	—

Продолжение таблицы С.1

Наименование данных	Значение по [5]	Значение по [6]	Значение по [7]
Год	1990	1990	1994
Страна	Германия	Дания	Дания
Звуковое поле	Свободное поле	Свободное поле	Свободное поле
Диапазон измерений[a)]	Порог слышимости: от 100 до 1000 Гц 30 фон: от 100 до 1000 Гц 50 фон: от 100 до 1000 Гц 70 фон: от 100 до 1000 Гц	Порог слышимости: от 25 до 125, 250, 500, 1000 Гц 20 фон: от 31,5 до 125, 250, 500 Гц 40 фон: от 40 до 125, 250, 500 Гц 60 фон: от 50 до 125, 250, 500 Гц 80 фон: от 50 до 125, 250, 500 Гц	Порог слышимости: от 1000 до 16000 Гц 20 фон: от 1000 до 16000 Гц 30 фон: от 1000 до 16000 Гц 40 фон: от 1000 до 16000 Гц
Число испытуемых (возраст)	12 (от 21 до 25)	От 10 до 12 (от 18 до 30)	29 (от 18 до 25)
Экспериментальный метод	Метод стационарного возбуждения	Метод группировки (группирования)	Метод группировки (группирования)
Опорный (эталонный) тон	1000 Гц постоянного уровня	1000 Гц постоянного уровня	1000 Гц постоянного уровня
Уровень испытательного тонального сигнала	± 1,875 дБ, ± 4,875 дБ, ± 7,875 дБ от равного по громкости уровня [24]	Изменялся с интервалом 2 дБ	Изменялся с интервалом 3 дБ
Длительность тонального сигнала	1 с	1 с	1 с
Последовательность тональных сигналов в паре	В случайном порядке	В случайном порядке	В случайном порядке
Число опросов в критерии однократного включения/выключения	70 опросов (20 раз для ± 1,875 дБ, 10 раз для ± 1,875 дБ, 5 раз для ± 7,875 дБ)	Когда шесть нисходящих и пять восходящих серий испытаний заканчивались	Когда четыре нисходящих и восходящих серий испытаний заканчивались
PSE оценка	50 % психометрической функции	Среднее от последнего уровня последовательностей, исключая начальные спады	Медиана от последнего уровня последовательностей
Примечание	—	Начальный уровень испытательного тона превышал уровень ИСО 226:1987 на величину от 15 до 20 дБ	Начальный уровень испытательного тона превышал уровень ИСО 226:1987 на 15 дБ

Продолжение таблицы С.1

Наименование данных	Значение по [8]		Значение по [9]	Значение по [10]	
Год	1997		1997	1999	
Страна	Дания		Япония	Германия	
Звуковое поле	Свободное поле	Поле давления[b)]	Свободное поле	Свободное поле	Поле давления[b)]
Диапазон измерений[a)]	Порог слышимости: от 50 до 16000 Гц 20 фон: от 50 до 800 Гц 40 фон: от 50 до 800 Гц 60 фон: от 50 до 800 Гц 80 фон: от 50 до 800 Гц 90 фон: от 125 до 800 Гц 100 фон: от 250 до 800 Гц	Порог слышимости: от 20 до 100 Гц 20 фон: от 20 до 100 Гц 40 фон: от 20 до 100 Гц 60 фон: от 20 до 100 Гц 80 фон: от 20 до 100 Гц 90 фон: от 20 до 100 Гц 100 фон: от 25 до 100 Гц	Порог слышимости: от 31,5 до 20000 Гц[d)] 20 фон: от 31,5 до 63, 125, 250, 500, от 1000 до 4000, 8000, 12500 Гц 40 фон: от 31,5 до 63, 125, 250, 500 Гц 50 фон: 125 Гц 60 фон: 125 Гц 70 фон: от 63 до 125, от 250 до 4000, 8000 Гц 90 фон: 125 Гц	60 фон: 100, 200, 630, 1000 Гц	60 фон: от 16 до 160 Гц
Число испытуемых (возраст)	27 (от 19 до 25)	14 (от 19 до 25)	от 9 до 30 (от 19 до 25)	12 (нет данных)	
Экспериментальный метод	Рандомизированный последовательный метод максимального правдоподобия		Метод стационарного возбуждения	Адаптивный однократно восходящий — нисходящий метод	
Опорный (эталонный) тон	1000 Гц постоянного уровня	100 Гц постоянного уровня	1000 Гц постоянного уровня	1000 Гц постоянного уровня	100 Гц постоянного уровня
Уровень испытательного тонального сигнала	Выбирался случайно в зависимости от $\mu, \mu \pm \sigma$ и $\mu \pm 2\sigma$[c)]		9 уровней с интервалом от 1,5 до 2,5 дБ	Начальный шаг 8 дБ, далее уменьшавшийся вдвое вплоть до конечного значения 2 дБ при каждом втором реверсировании отклика	
Длительность тонального сигнала	1 с		1 с	Нет данных	
Последовательность тональных сигналов в паре	В случайном порядке		В случайном порядке		
Число мнений в критерии однократного включения/выключения	Испытания прекращены, когда были представлены пять возможных уровней		9 уровней испытательного тона × 20 = = 180 мнений		
PSE оценка	Оценка максимального правдоподобия		Оценка максимального правдоподобия		
Примечание		В качестве опорного уровня испытательного сигнала применялся индивидуальный равный по громкости уровень для 100 Гц в свободном звуковом поле		В качестве опорного уровня испытательного сигнала применялся индивидуальный равный по громкости уровень для 100 Гц в свободном звуковом поле	

Окончание таблицы С.1

Наименование данных	Значение по [11]	Значение по [12]
Год	2000	2002
Страна	Япония	Япония
Звуковое поле	Свободное поле	Свободное поле
Диапазон измерений[a]	Порог слышимости: от 31,5 до 18000 Гц 20 фон: от 50 до 16000 Гц 30 фон: от 1000 до 16000 Гц 40 фон: от 80 до 15000 Гц 50 фон: от 1000 до 16000 Гц 70 фон: от 125 до 12500 Гц 90 фон: от 1000 до 4000 Гц	Порог слышимости: от 1000 до 125000 Гц 60 фон: от 1000 до 12500 Гц 80 фон: от 1000 до 6300 Гц
Число испытуемых (возраст)	От 7 до 32 (от 18 до 25)	21 (от 21 до 25)
Экспериментальный метод	Рандомизированный последовательный метод максимального правдоподобия	Рандомизированный последовательный метод максимального правдоподобия
Опорный (эталонный) тон	1000 Гц постоянного уровня	1000 Гц постоянного уровня
Уровень испытательного тонального сигнала	Выбирается случайно от μ, $\mu \pm \sigma$, $\mu \pm 2\sigma$, $\mu \pm 4\sigma$ и $\mu \pm 6\sigma$[c] дБ	Выбирался случайно от μ, $\mu \pm \sigma$, $\mu \pm 2\sigma$, $\mu \pm 4\sigma$, $\mu \pm 6\sigma$ и $\mu \pm 8\sigma$[c] дБ
Длительность тонального сигнала	1 с	1 с
Последовательность тональных сигналов в паре	В случайном порядке	В случайном порядке
Число опросов в критерии однократного включения/выключения	После предъявления 50 пар тональных сигналов	После предъявления 60 пар тональных сигналов
PSE оценка	Оценка максимального правдоподобия	Оценка максимального правдоподобия
Примечание	Первый и второй предъявляемые уровни отличались на ± 20 дБ от наилучшей авторской гипотезы PSE	Первый и второй предъявляемые уровни отличались на ± 20 дБ от наилучшей авторской гипотезы PSE

[a] Измеряемый диапазон «от A до B Гц» означает последовательность среднегеометрических частот третьоктавных полос по ИСО 266 в диапазоне от A до B Гц.

[b] Эксперименты «по звуковому давлению» были проведены в специальном малом помещении, в котором требуемое звуковое давление создавалось во всем пространстве помещения. Эксперименты при таких условиях ограничены низкочастотной областью. Такие эксперименты должны подтверждаться с целью получения результатов, не противоречащих результатам сравнительных исследований в свободном звуковом поле.

[c] μ и σ являются оценками среднего и стандартного отклонения психометрической функции по методу максимального правдоподобия.

[d] Порог слышимости в [9] не был указан, но приведен в [25] наряду с [4]

Соотношение равной громкости, зависящее от звукового давления, может быть выражено так же, как функция частоты. Когда громкость чистого тона частотой 1000 Гц равна громкости чистого тона частотой f, из формулы (С.2) может быть получена формула

$$p_f^2 = \frac{1}{U_f^2}\left[\left(p_r^{2\alpha_f} - p_{tf}^{2\alpha_f}\right) + \left(U_f p_{tf}\right)^{2\alpha_f}\right]^{1/\alpha_f}, \qquad (С.3)$$

где p_f — звуковое давление чистого тона на частоте f, когда его громкость равна громкости чистого тона, имеющего частоту 1000 Гц и звуковое давление p_r;

p_{tf} — звуковое давление, соответствующее порогу слышимости на частоте f;

p_{t} — звуковое давление, соответствующее порогу слышимости на частоте 1000 Гц;

α_f и α_r — показатели экспоненты для чистых тонов на частотах f и 1000 Гц соответственно;

U_f — модуль передаточной функции линейной системы, нормированной на частоте 1000 Гц так, что $U_{1000} = 1$.

При выводе формулы (С.3) предполагалось, что параметры b и β «процесса численной оценки» не зависят от частоты. С помощью полученных формул можно рассчитать УЗД чистого тона на частоте f, Гц, громкость которого равна громкости чистого тона на частоте 1000 Гц.

Формула (С.3) может быть преобразована в формулу (С.1) заменой величин p_f, p_r, p_{tf}, p_t и U_f на $L_f = 20\lg(p_f/p_0)$, $L_N = 20\lg(p_r/p_0)$, $T_f = 20\lg(p_{tf}/p_0)$, $T_r = 20\lg(p_t/p_0)$ и $L_U = 20\lg(U_f)$ соответственно, где $p_0 = 20$ мкПа, α_r принимают равным 0,25, пороговое значение T_r – 2,4 дБ. Формула (С.3) путем той же замены может быть преобразована в формулу (С.2).

Показатель экспоненты α_f на частоте 1000 Гц принимают равным 0,25 по следующей причине. Типичное значение α_r, полученное с помощью метода оценки абсолютного значения громкости AME (Absolute Magnitude Estimation), равно 0,27 (0,54 для звукового давления) [15]. Громкость, полученная в AME-эксперименте, правильно описывает выходной сигнал двухзвенной модели. Таким образом, значение показателя экспоненты 0,27 соответствует $\alpha_r\,\beta$ в приведенных выше формулах, где $\beta = 1{,}08$. Данное значение β определено в [18]. Поэтому показатель экспоненты α_f на частоте 1000 Гц взят равным 0,25 (0,25 = 0,27/1,08).

С.3 Определение зависимых от частоты значений параметров таблицы С.1

Кривые равной громкости могут быть построены, если в формуле (С.1) известны значения зависящих от частоты параметров α_f, L_U и T_f. Эти значения рассчитаны по экспериментальным данным следующим образом.

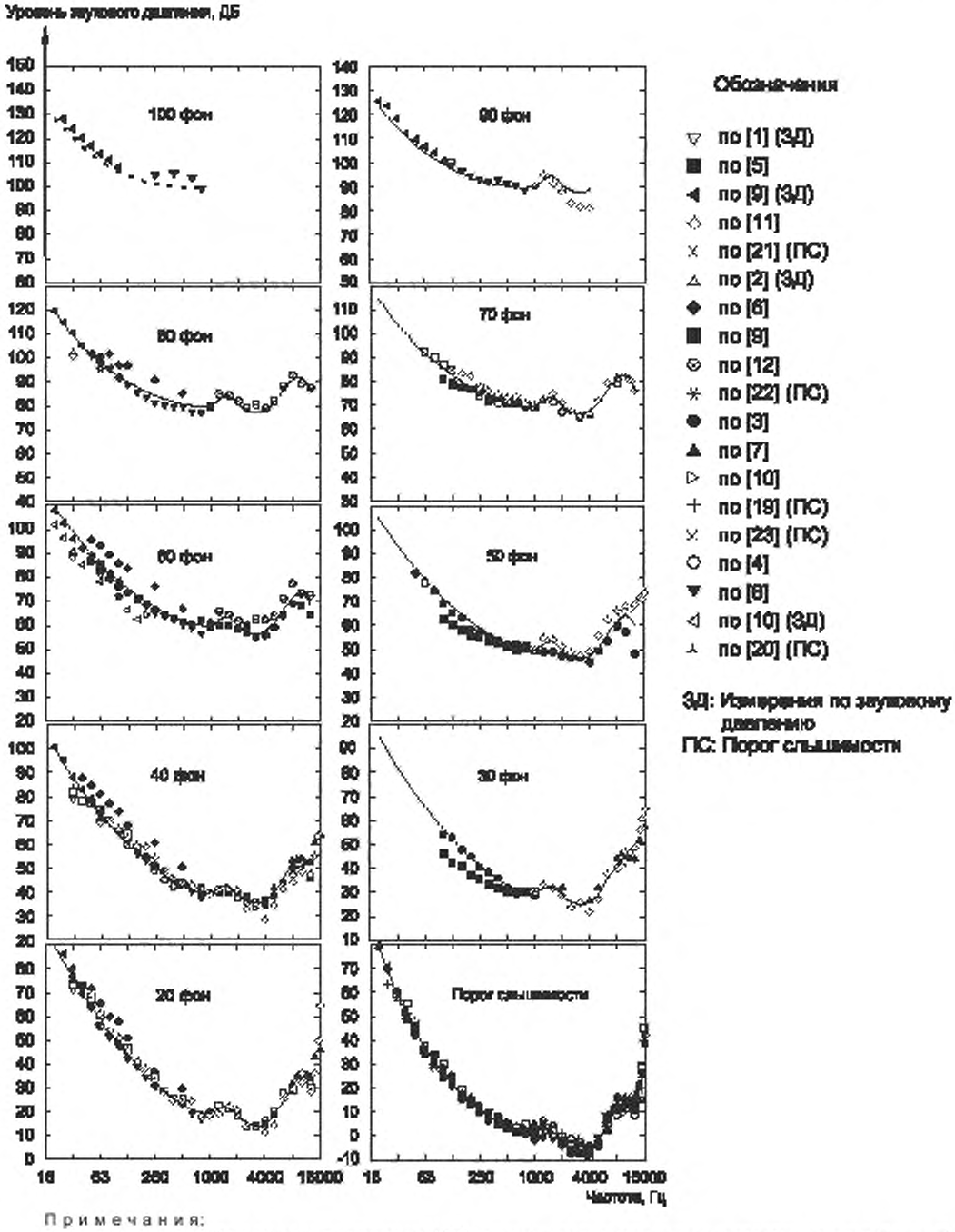
a) Использованы средние значения, за исключением результатов двух исследований [19, 21]. Пороги слышимости для каждой частоты в диапазоне от 20 до 12500 Гц [3]—[9], [11], [12], [20], [22], [23] представлены средними значениями результатов всех исследований, а затем интерполированы функцией кубического B-сплайна. Результат представлен в таблице С.1 значениями величины T_f. Число испытуемых лиц при вычислении сплайна не учитывалось.

b) Значения α_f и L_U в формуле (1) определены по экспериментальным данным [1]—[12] нелинейным методом наименьших квадратов. Применялась взвешенная величина стандартной ошибки, т. е. стандартное отклонение делилось на корень квадратный из числа испытуемых лиц. Полученные значения α_f затем интерполировались кубическим B-сплайном. Результат представлен в таблице 1 значениями величины α_f.

c) Значения L_U повторно оценивались с помощью формулы (1) по найденным α_f. Новые значения L_U интерполировались кубическим B-сплайном. Результат представлен в таблице 1 значениями величины L_U.

С.4 Оценка соответствия кривых равной громкости экспериментальным данным

Оценка кривых равной громкости проведена в диапазоне частот от 20 до 12500 Гц, поскольку для частот выше 12500 Гц велик разброс экспериментальных данных. На рисунке С.2 показаны экспериментальные данные, стандартные кривые равной громкости, включая кривую порога слышимости [1]—[12], [19]—[23].



Примечания:

1 Данные измерений по звуковому давлению (ЗД) получены только для низких частот [см. также таблицу С.1 и сноску b) в ней].

2 Графическими символами отмечены экспериментальные данные, кривые рассчитаны по формуле (1).

Рисунок С.2 — Кривые равной громкости чистых тонов при стандартном прослушивании в условиях свободного звукового поля

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочного международного стандарта ссылочному национальному стандарту Российской Федерации (и действующему в этом качестве межгосударственному стандарту)

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
ИСО 266	IDT	ГОСТ 12090—80 Частоты для акустических измерений. Предпочтительные ряды
Примечание — В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов: - IDT — идентичный стандарт.		

Библиография

[1] KIRK, B. Horestyrke og genevirkning af infralyd. *Institute of Electronic Systems*, Aalborg University, Aalborg, Denmark, 1983, pp. 1—111 (in Danish) ISSN 0106-0791

[2] MOLLER, H., ANDRESEN, J. Loudness of pure tones at low and infrasonic frequencies. *J. Low Freq. Noise and Vib.*, **3**, 1984, pp. 78—87

[3] BETKE, K. and MELLERT, V. New measurements of equal-loudness level contours. *Proc. Inter-noise 89*. 1989, pp. 793—796

[4] SUZUKI, S., SUZUKI, Y., KONO, S., SONE, T., KUMAGAI, M., MIURA, H. and KADO, H. Equal-loudness level contours for pure tone under free field listening condition (I) — Some data and considerations on experimental conditions. *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, **10**, 1989, pp. 329—338

[5] FASTL, H., JAROSZEWSKI, A., SHORER, E. and ZWICKER, E. Equal loudness contours between 100 and 1000 Hz for 30, 50 and 70 phon. *Acustica*, **70**, 1990, pp. 197—201

[6] WATANABE, T. and MOLLER, H. Hearing threshold and equal loudness contours in free field at frequencies below 1 kHz. *J. Low Freq. Noise and Vib.*, **9**, 1990, pp. 135—148, WATANABE, T, MOLLER, H. Low frequency hearing thresholds in pressure field and in free field. *J. Low Freq. Noise Vibr.*, **9**, 1990, pp. 106—115

[7] POULSEN, T. and THOGERSEN, L. Hearing threshold and equal loudness level contours in a free sound field for pure tones from 1 kHz to 16 kHz. *Proc. Nordic Acoust. Meeting*, 1994, pp. 195—198

[8] LYDOLF, M. and MOLLER, H. New measurements of the threshold of hearing and equal-loudness contours at low frequencies. *Proceedings of the 8th International meeting on Low Frequency Noise and Vibration*, Gothenburg, Sweden, 1997, pp. 76—84

[9] TAKESHIMA, H., SUZUKI, Y., KUMAGAI, M., SONE, T., FUJIMORI, T. and MIURA, H. Equal-loudness level measured with the method of constant stimuli — Equal-loudness level contours for pure tone under free-field listening condition (II). *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, **18**, 1997, pp. 337—340

[10] BELLMANN, M.A., MELLERT, V., RECKHARDT, C. and REMMERS, H. Sound and vibration at low frequencies. Joint meeting of ASA, EAA and DAGA, 1999, Berlin, Germany. *J. Acoust. Soc. Am.*, **105**, 1999, p. 1297

[11] TAKESHIMA, H., SUZUKI, Y., FUJII, H., KUMAGAI, M., ASHIHARA, K., FUJIMORI, T. and SONE, T. Equalloudness contours measured by the randomized maximum likelihood sequential procedure. *Acustica — acta acustica*, **87**, 2001, pp. 389—399

[12] TAKESHIMA, H., SUZUKI, Y., ASHIHARA, K. and FUJIMORI, T. Equal-loudness contours between 1 kHz and 12.5 kHz for 60 and 80 phons. *Acoust. Sci. Tech.*, **23**, 2002, pp. 106—109

[13] ISO/TC 43/WG 1 Threshold of hearing, Preferred test conditions for determining hearing thresholds for standardization. *Scand. Audiol.*, **25**, 1996, pp. 45—52

[14] ZWISLOCKI, J.J. and HELLMAN, R.P. On the psychophysical law. *J. Acoust. Soc. Am.*, **32**, 1960, p. 924

[15] LOCHNER, J.P.A. and BURGER, J.F. Form of the loudness function in the presence of masking noise. *J. Acoust. Soc. Am.*, **33**, 1961, pp. 1705—1707

[16] HUMES, L.E. and JESTEADT, W. Models of the effects of threshold on loudness growth and summation. *J. Acoust. Soc. Am.*, **90**, 1991, pp. 1933—1943

[17] ATTENEAVE, F. Perception and related areas. A study of science. Vol. 4, S. Koch (ed.), McGraw Hill, New -York, 1962

[18] ZWISLOCKI, J.J. Group and individual relations between sensation magnitudes and their numerical estimates. Perception Psychophysics, 33, 1983, pp. 460—468

[19] ROBINSON, D.W. and DADSON, M.A. A re-determination of the equal-loudness relations for pure tones. British J. Appl. Phy., 7, 1956, pp. 166—181

[20] TERANISHI, R. Study about measurement of loudness on the problems of minimum audible sound. Researches of the Electrotechnical laboratory, No. 658, Tokyo, Japan, 1965

[21] BRINKMANN, K. Audiometer-Bezugsschwelle und Freifeld-Hörschwelle. Acustica, 28, 1973, pp. 147—154

[22] VORLÄNDER, M. Freifeld-Hörshwellen von 8 kHz—16 kHz. Fortschritte der Akustik — DAGA '91, Bad Honnef, DPG-GmbH, 1991, pp. 533—536

[23] POULSEN, T. and HAN, L.A. The binaural free field hearing threshold for pure tones from 125 Hz to 16 kHz. Acustica — acta acustica, 86, 2000, pp. 333—337

[24] ZWICKER, E. Psychoakustik. Hochschultext, Springer, Berlin, 1982

[25] TAKESHIMA, H., SUZUKI, Y., KUMAGAI, M., SONE, T., FUJIMORI, T. and MIURA, H. Threshold of hearing for pure tone under free-field listening conditions. J. Acoust. Soc. Jpn. (E), 15, 1994, pp. 159—169

УДК 534.322.3.08:006.354 ОКС 13.140 Т34

Ключевые слова: порог слышимости, уровень громкости, частота чистого тона, уровень звукового давления, стандартные кривые равной громкости

Редактор *Б.Н. Колесов*
Технический редактор *Н.С. Гришанова*
Корректор *Е.Д. Дульнева*
Компьютерная верстка *В.И. Грищенко*

Сдано в набор 31.05.2010. Подписано в печать 02.08.2010. Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура Ариал. Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 1,70. Тираж 109 экз. Зак. 616.

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru
Набрано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» на ПЭВМ
Отпечатано в филиале ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» — тип. «Московский печатник», 105062 Москва, Лялин пер., 6

gost.e-ecolog.ru