Частицы воздуха в звуковой волне



Звуковое давление

– разность между
 мгновенным значением полного давления
 в данной точке звукового поля
и средним атмосферным давлением
(наблюдаемым в среде
при отсутствии звукового поля)

 $p, \Pi a$

Звуковое давление, создаваемое чистым тоном

$$p = p_{\text{max}} \sin(2\pi f \cdot t + \varphi_0)$$

В плоской бегущей волне

$$\frac{p}{v} = \rho \cdot v_{_{369Ka}} \qquad p = \rho \cdot v_{_{369Ka}} \cdot v$$

р – эффективное значение звукового давления

 $_{\mathcal{V}}$ – среднеквадратичное значение колебательной скорости частиц

$$v = A\omega\cos\omega t = v_{\text{max}}\cos\omega t$$

р – плотность воздуха
 – скорость распространения звука
 v_{звука}

— акустическое сопротивление среды
$$\rho \cdot v_{_{\mathit{3BYK}a}}$$

Интенсивность звука

– энергия звуковой волны,
переносимая за единицу времени
через единицу площади поверхности,
нормальной к направлению
распространения звуковой волны

$$I$$
, BT/M²

При любом фронте волны для свободного звукового поля интенсивность звука

$$I = \frac{p^2}{\rho \cdot v_{_{36YKA}}}$$

Интенсивность звука пропорциональна квадрату звукового давления

Плотность звуковой энергии

– энергия, содержащаяся
 в единице объема звукового поля

$$W$$
, Дж/м³

При распространении продольной плоской волны плотность звуковой энергии

$$w = \frac{p^2}{\rho \cdot v_{_{36YK}a}^2}$$

Звуковая мощность источника

- звуковая энергия,
 излучаемая в единицу времени

Звуковая мощность Р, Вт

• Разговор	10 -5
• Наибольшая мощность чело	
голоса	2 10 ⁻³
• Фортепиано	2 10 ⁻³
• Труба	0,3
• Автосигнал	5
• Громкоговоритель	10 ²
• Сирена	3 10 ³
• Реактивный двигатель	10 ⁴
• Ракетный двигатель	10 ⁶

Интенсивность звука и звуковая мощность источника связаны соотношением

$$I = \frac{P}{S}$$

I – интенсивность звука, P – звуковая мощность, S – площадь фронта волны

При распространении сферической волны в среде без поглощения

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

Смещение частиц

$$\varsigma(r,t) = \frac{A_0}{r} \cos(\omega(t - \frac{r}{v}))$$

В однородной среде поглощение волн обусловлено внутренним трением

$$A(x) = A_0 e^{-\alpha x}$$

$$I(x) = I_0 e^{-2\alpha x}$$

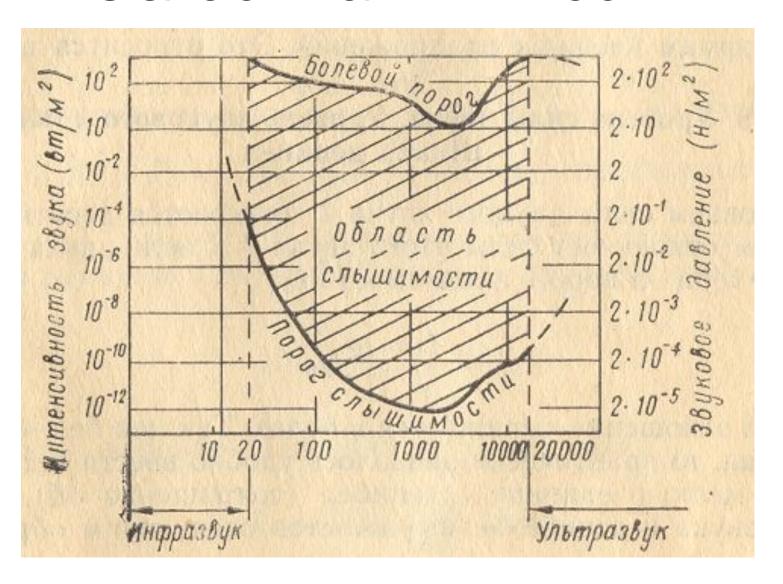
- линейный коэффициент поглощения волн,

Фактор направленности

– отношение интенсивности звука $\it I$, создаваемой источником в данной точке звукового поля, к интенсивности $I_{c\phi epa}$, которую имел бы источник такой же мощности, равномерно излучающий звук по всем направлениям (в сферу)

$$D = \frac{I}{I_{c\phi epa}}$$

Область слышимости



Уровень интенсивности звука

$$L_I=\lgrac{I}{I_0}$$
 (Б) $L_I=10\lgrac{I}{I_0}$ (ДБ)

Уровень звукового давления

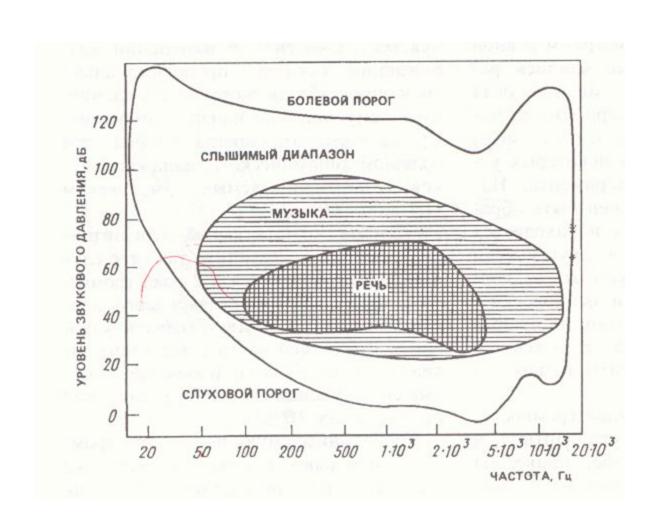
$$L_p = 2\lg\frac{p}{p_0}$$
 (Б)

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0}$$
 (дБ)

$L_I = 101g \frac{I}{I_0} = 101g \frac{p^2}{p_0^2} = 201g \frac{p}{p_0} = L_p$



Область слышимости



Уровни звука в дБ

The sealer are the control of the sealer of	Таблица 1
Характер и источники шума	Уровень интенсивности шума относительно $I_0 = 10^{-12} \ \text{вm/м},$ $\partial \delta$
Порог слышимости Шепот на расстоянии 1 м Тихая музыка по радио Тихая речь (расстояние 1 м) Громкая речь (расстояние 1 м) Шум на улице Оркестровая музыка (фортиссимо) Шум реактивного двигателя самолета (расстояния 3 м) Болевой порог	0 20-30 40-50 50 70 70-80 100-110 120-130 130

$$L_1 - L_2 = 10 \lg \frac{I_1}{I_0} - 10 \lg \frac{I_2}{I_0} = 10 \lg \frac{I_1}{I_0} = 10 \lg \frac{I_1}{I_0}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = 2 \Longrightarrow L_1 - L_2 = 10 \lg 2 = 3 \, дБ$$

$$\frac{I_1}{I_2}$$
 = 1,26 \Rightarrow $L_1 - L_2 = 101g1,26 = 1 дБ$

Уровень звуковой мощности источника

$$L_P = \lg \frac{P}{P_0}$$
 (Б)

$$L_{P} = 101 \mathrm{g} \frac{P}{P_{0}}$$
 (дБ)

Показатель направленности излучения звука источником

$$\Pi H = L - \overline{L} = 101 \text{g}\Phi$$

$$L - \overline{L} = 101g \frac{I}{I_0} - 101g \frac{I_{cdepa}}{I_0} = 101g \frac{I}{I_{cdepa}} = 101g \frac{I}{I_{cdepa}} = 101g \Phi$$

Сложение уровней интенсивности звука

$$L = 10\lg \frac{I}{I_0} = 10\lg \frac{I_1 + I_2 + \dots}{I_0} = 10\lg (\frac{I_1}{I_0} + \frac{I_2}{I_0} + \dots)$$

$$L_1 = 10\lg \frac{I_1}{I_0} \implies \lg \frac{I_1}{I_0} = 0, 1L_1, \quad \frac{I_1}{I_0} = 10^{0,1L_1}$$

$$L = 101g(10^{0.1L_1} + 10^{0.1L_2} + ...)$$

$$L = 10 \lg \sum_{i=1}^{n} 10^{0,1L_i}$$

$$L = 101g(10^{0.1L_1} + 10^{0.1L_2} + ...)$$

$$L = 101g \sum 10^{0.1L_i}$$

При совместном действии n одинаковых независимых равноудаленных источников

$$L = 10\lg \frac{nI_1}{I_0} = 10\lg \frac{I_1}{I_0} + 10\lg n = L_1 + 10\lg n$$
 при $n = 2$

$$L = L_{1} + 101g2 = L_{1} + 3$$
 дБ

Таблица 1 Сложение уровней звукового давления

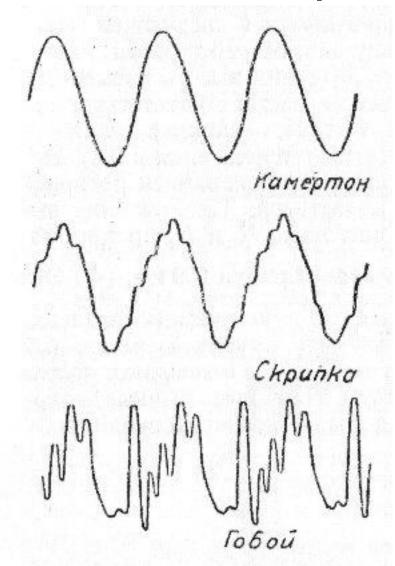
Показатели	Значения показателей						100						
Разность двух складываемых уровней, дБ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	0	10	15	20
Добавка к более высоко- му уровню для получения сум- марного уров- ня, дБ	3	2,5	2	1,8	1,5	1,2	1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2	0

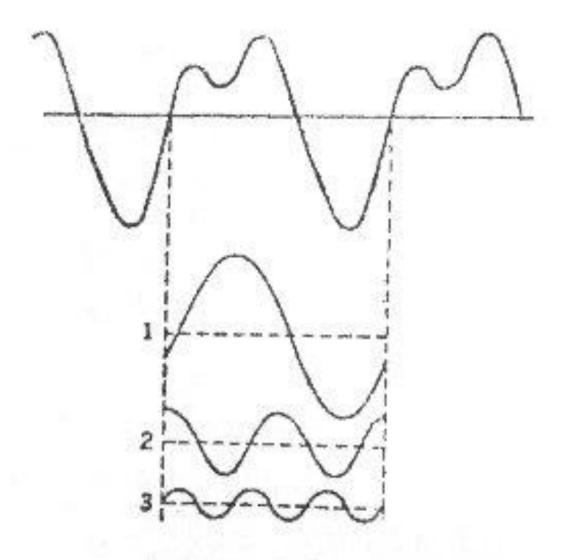
Физиологические характеристики звука

- Высота
- Тембр (окраска звучания)
- Громкость



Формы звуковых волн одинаковой высоты и громкости





Фиг. 19. Сложение трех синусоидальных гармонических движений с кратными частотами (D. C. Miller).

- Частота 100 Гц, звуковая мощность 0,25 Вт
- Частота 1000 Гц, звуковая мощность 0,02 Вт

звуки кажутся слушателю равногромкими

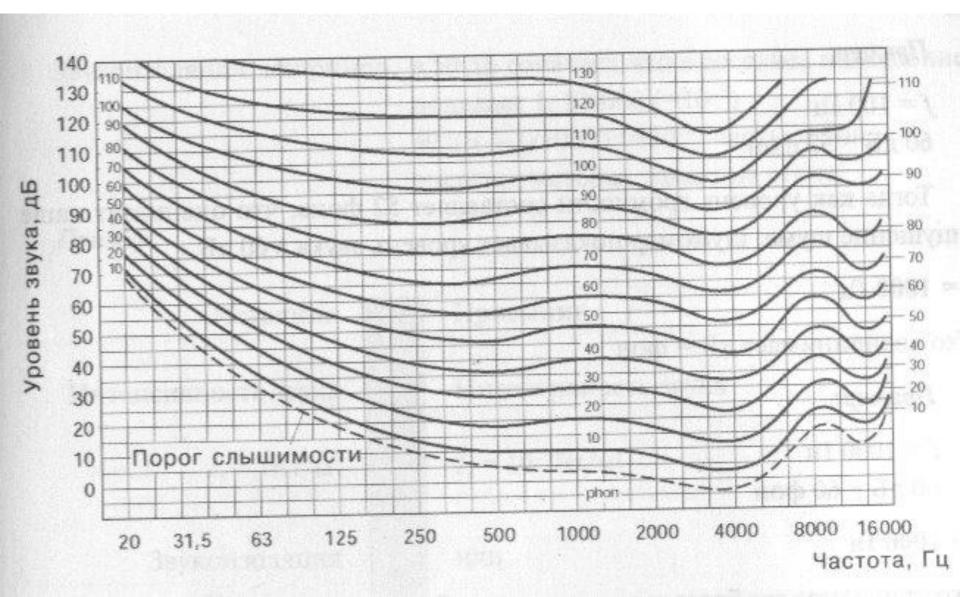
Уровень громкости какого-либо звука (в фонах)

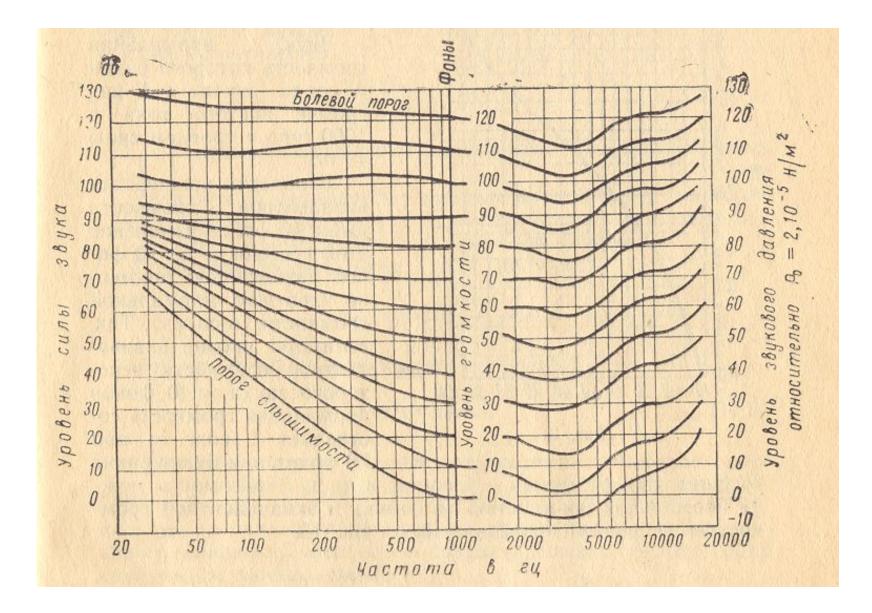
численно равен уровню звукового давления (в дБ) равногромкого эталонного звука (тона 1000 Гц)

Кривая равной громкости

геометрическое место точек,
 изображающих тоны различных частот с
 одинаковым уровнем громкости
 (равногромкие звуки различных частот)

Кривые равной громкости

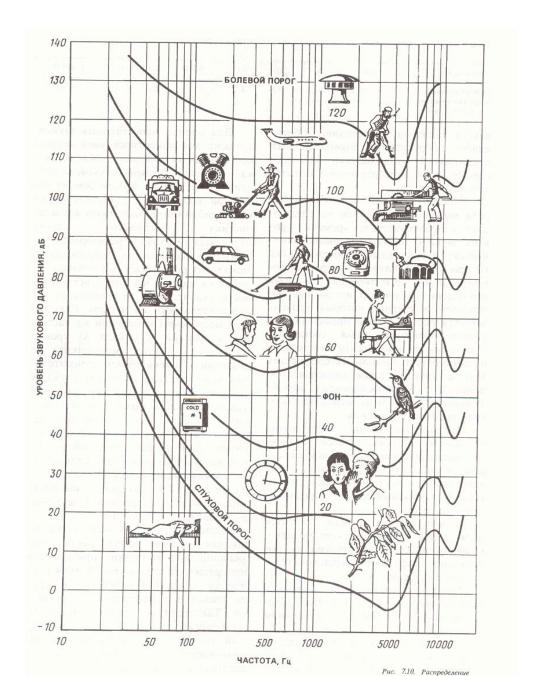




выводы

- Чувствительность уха возрастает с увеличением частоты звука
- В области частот 500 2000 Гц уровень звукового давления (дБ) и уровень громкости (фоны) численно совпадают
- При повышении интенсивности звука различие в чувствительности уха к различным частотам становится менее заметным

Инфразо	Зуки	ЗВУКИ пизкие средние высокие	Ультра- звуки
Сила звука	Звуковое давление		Уровень силы
Вт/см2	бары	Верхний предел слышимых частот у грудного ребенка Верхний предел слышимых частот у старого человека	- 38ука дб
100	200	50 de 80 û nopoz 130 ¢on	120
10	20	110	100
0,1	2	30	60
10-4	2-10-1	70	60
10-6	2-10-2		40
10 - 8	2-10-3	20	20
10-10	2-10-4	Порог слышимости	0



	Фоны в дБ (A)	Про	цесс	Ощущения
FOUTER A DESIGNATION For 1988 Est	20	Тиканье тихих часов, легкий шелест листвы спокойная комната ночью	1, (a) (b) (c) (c) (c) (c) (c) (c) (c) (c) (c) (c	Очень тихо
Ступени шума	30	Шелест листьев, шепот разговор соседей, еле понятный		Тихо
	40	Близкий шепот, средние шумы в жиль		Почти тихо
1	50	Разговор		Умеренно громко
	60	Шум в бюро, ресторане, магазине		Умеренно громко
	70	Громкий разговор, громкое радио, крик	63	Громко
2	80	Уличный шум при сильном движении		Громко
	90	Шумный производ- ственный цех, автосиг- нал	W - 170	CHORNO ESCAL
	100	Отбойный молоток, маленький самолет	Smu e	От
110	110	Штамповочно-котельное производство, громкая музыка, сигнал машины скорой помощи	0	громкого до непере- носимого
4		Реактивный двигатель, двигатель ракеты		

Субъективному ощущению удвоения громкости звука соответствует увеличение уровня звукового давления на 10 дБ

Шкала громкости в сонах

- Громкость в 1 сон имеет звук с уровнем громкости 40 фон
- Удвоение громкости звука в сонах эквивалентно изменению уровня громкости звука на 10 фон (эквивалентно изменению уровня звукового давления на 10 дБ)

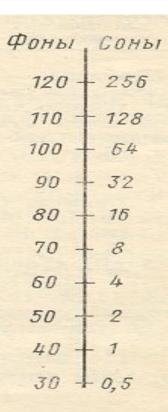


Рис. 7. Зависимость между уровнями громкости (в фонах) и громкостью (в сонах)

Таблица 7.1. Относительная частотная характеристика коррекции А

Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Относительная частотная харак- теристика, дБ	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	+1,2	+1,0	-1,1

По характеру спектра

- Широкополосные шумы
- Тональные шумы

По положению максимума уровня звукового давления на спектре

- Низкочастотные шумы (до 300 Гц)
- Среднечастотные шумы (300 800 Гц)
- Высокочастотные шумы (выше 800 Гц)

По временным характеристикам

- Постоянные шумы

 (уровень звука изменяется во времени не более чем на 5 дБА)
- Непостоянные шумы

 (уровень звука изменяется во времени более чем на 5 дБА)

Непостоянные шумы

• Колеблющиеся во времени

уровень звукового давления непрерывно изменяется (шум транспорта)

• Прерывистые шумы

уровень звукового давления падает до фонового значения, но длительность интервалов, в течение которых шум постоянен более 1 секунды (шум лифта, холодильника)

• Импульсные шумы

удары длительностью менее 1 секунды (хлопанье дверями, кузнечное оборудование)

В случае постоянного шума

нормируются уровни звукового давления *L*, **дБ**

в октавных полосах частот

31,5; 63; 125; 250; ... 8000 Гц

В случае непостоянных шумов

нормируется эквивалентный (по энергии) уровень звука в дБА

 $L_{A \ _{2KB}}$, дБA

Эквивалентный (по энергии) уровень звука в дБА

уровень постоянного широкополосного шума,
 связанный с изменяющимся уровнем непостоянного шума соотношением

$$L_{A_{\text{9KB}}} = 101g \frac{1}{T} \int_{0}^{T} 10^{0.1L_{A}} dt$$

L_A - изменяющийся во времени уровень звука непостоянного шума в дБА

- время наблюдения

- текущее время

Источники бытового шума Уровень шума, дБА

- Музыкальный центр 85
- Телевизор 70
- Разговор (спокойный) 65
- Детский плач 78
- Работа пылесоса 75
- Работа стиральной машины 68
- Работа холодильника 42
- Работа электробритвы 60
- Вытекающая из крана вода 44-50
- Наполнение ванны 36-58
- Наполнение бачка в санузле 40-67
- Приготовление пищи на плите 35-42
- Перемещения лифта 34-42
- Стук закрываемой двери лифта 44-52
- Стук закрываемого мусоропровода 42-58

В случае прерывистого и импульсного шума

Определяют эквивалентные (по энергии) уровни звукового давления

 $L_{_{\mathcal{S}K\mathcal{B}}}$, дБ

в октавных полосах частот

31,5; 63; 125; 250; ... 8000 Гц

Таблица 1

Назначение помещений или территорий	Время	Уровень звукового давления (эквивалентный уровень звукового давления) L , дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Γ ц										а Максималь- ный уровень
	суток, ч	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	лентный уровень звука $L_{\text{Аэкв}}$), дБА	звука <i>L</i> _{Амакс} , дБА
1 Рабочие помещения административно-управленческого персонала производственных предприятий, лабораторий, помещения для измерительных и аналитических работ		93	79	70	63	58	55	52	50	49	60	70
2 Рабочие помещения диспетчерских служб, кабины наблюдения и дистанционного управления с речевой связью по телефону, участки точной сборки, телефонные и телеграфные станции, залы обработки информации на ЭВМ	SOLO TRANSPORTE	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65	75
3 Помещения лабораторий для проведения экспериментальных работ, кабины наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону	X 4. 33	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75	90
4 Помещения с постоянными рабочими местами производственных предприятий, территории предприятий с постоянными рабочими местами (за исключением работ, перечисленных в поз. 1—3)	SCHOOL BOOK	107	95	. 87	82	78	75	73	71-	69	80	95
5 Палаты больниц и санаториев	7.00—23.00 23.00—7.00	76 69	59 51	48 39	40 31	34 24	30 20	27 17	25 14	23 13	35 25	50 40
6 Операционные больниц, кабинеты врачей больниц, поликлиник, санаториев	4 4 <u>-1</u> 8	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
7 Классные помещения, учебные кабинеты, аудитории учебных заведений, конференц-залы, читальные залы библиотек, зрительные залы клубов и кинотеатров, залы судебных заседаний, культовые здания	milker i seobera milkera sensiana 2°3 O ³ 44 presentational	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55

Продолжение таблицы 1

Назначение помещений или территорий	Время суток, ч	Уровен <i>L</i> , дБ,	ь звуков в октавні	Уровень звука L_{A} (эквива-	Максималь-							
		31,5	63	125	250.	500	1000	2000	4000	8000		звука $L_{\rm Amake}$, дБА
8 Жилые комнаты квартир - в домах категории А	7.00—23.00 23.00—7.00	76 69	59 51	48 39	40 31	34 24	30 20	27 17	25 14	23 13	35 25	50 40
- в домах категорий Б и В	7.00—23.00 23.00—7.00	79 72	63 55	52 44	45 35	39 29	35 25	32 22	30 20	28 18	40 30	55 45
9 Жилые комнаты общежитий	7.00—23.00 23.00—7.00	83 76	67 59	57 48	49 40	44 34	40 30	37 27	35 25	33 23	45 35	60 50
10 Номера гостиниц: категории А	7.00—23.00 23.00—7.00		59 51	48 39	40 31	34 24	30 20	27 17	25 14	23	35 25	50 40
У Зарумичения, немочением и другия уческами с 500 ж там пр вкладник, приса и другия уческами подприята детских демиходения учреждений.	7.00—23.00 23.00—7.00		63 55	52 44	45 35	39 29	35 25	32 22	30 20	28 18	40 30	55 45
обы в на В фесторозмя и плагаторя.	7.00—23.00 23.00—7.00		67 59	57 48	49 40	44 34	40 30	37 27	35 25	33 23	45 35	60 50
11 Жилые помещения домов отдыха, пансио- натов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, спальные помещения детских дош- кольных учреждений и школ-интернатов	7.00—23.00 23.00—7.00		63 55	52 44	45 35	39 29	35 25	32 22	30 20	28 18	40 30	55 45
12 Помещения офисов, рабочие помещения и кабинеты административных зданий, конструк-		22		10	63.	28			25)		- 93	10
торских, проектных и научно-исследовательских организаций: категории А категорий Б и В	баса <u>—</u> г према	83 86	67	57 61	49 54	44 49	40 45	37 42	35 40	33 38	45 50	60 65
13 Залы кафе, ресторанов, фойе театров и кинотеатров: категории А	-	86	71	61	54	49	45	42	40	- 38	50	60
категорий Б и В		89	75	66	59	54	50	47	45	43	55	65

Окончание таблицы 1

Назначение помещений или территорий	Время суток, ч	Уровен <i>L</i> , дБ,	ь звуков в октавн	Уровень звука $L_{\rm A}$ (эквива-	Максималь- ный уровень							
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	лентный уровень звука $L_{\text{Аэкв}}$), дБА	звука $L_{\text{Амакс}}$, дБА
14 Торговые залы магазинов, пассажирские залы вокзалов и аэровокзалов, спортивные залы		93	79	70	63	58	55	52	50	49	60	70
15 Территории, непосредственно прилегающие к зданиям больниц и санаториев	7.00—23.00 23.00—7.00	86 79	71 63	61 52	54 45	49 39	45 35	42 32	40 30	38 28	50 40	65 55
16 Территории, непосредственно прилегающие к жилым зданиям, домам отдыха, домам-интернатам для престарелых и инвалидов	7.00—23.00 23.00—7.00	90 83	75 67	66 57	59 49	54 44	50 40	47 37	45 35	44 33	55 45	70 60
17 Территории, непосредственно прилегающие к зданиям поликлиник, школ и других учебных заведений, детских дошкольных учреждений, площадки отдыха микрорайонов и групп жилых домов	17.00-11 cu	90	75	66	59	54	50	47	45	44	55	70

Примечания

1 Допустимые уровни шума в помещениях, приведенные в поз. 1,5 — 13, относятся только к шуму, проникающему из других помещений и извне.

3 При тональном и (или) импульсном характере шума допустимые уровни следует принимать на 5 дБ (дБА) ниже значений, указанных в таблице 1.

5. Допустимые уровни шума от транспортных средств (поз. 5, 7 — 10, 12) разрешается принимать на 5 дБ (5 дБА) выше значений, указанных в таблице 1.

² Допустимые уровни шума от внешних источников в помещениях, приведенные в поз. 5—12, установлены при условии обеспечения нормативного воздухообмена, т.е. при отсутствии принудительной системы вентиляции или кондиционирования воздуха, должны выполняться при условии открытых форточек или иных устройств, обеспечивающих приток воздуха. При наличии систем принудительной вентиляции или кондиционирования воздуха, обеспечивающих нормативный воздухообмен, допустимые уровни внешнего шума у зданий (поз. 15—17) могут быть увеличены из расчета обеспечения допустимых уровней в помещениях при закрытых окнах.

⁴ Допустимые уровни шума от оборудования систем вентиляции, кондиционирования воздуха и воздушного отопления, а также от насосов систем отопления и водоснабжения и холодильных установок встроенных (пристроенных) предприятий торговли и общественного питания следует принимать на 5 дБ (дБА) ниже значений, указанных в таблице 1. При этом поправку на тональность шума не учитывают.

Таблица 1

Помещения и территории	Уровни звукового давления L (эквивалентные уровни звукового давления $L_{\rm 9KB}$) в дБ в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами в Γ ц										
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	уровни звука <i>L</i> A экв в дБА		
 Палаты больниц и санаториев, операционные больниц. Жилые комнаты квартир, жилые помещения домов отдыха и пансионатов, спальные поме- 	51	39	31	24	20	17	14	13	25		
щения в детских дошкольных учреждениях и школах-интернатах	55	44	35	29*	25	22	20	1/8	30		
номера гостиниц, жилые комнаты в общежитиях.	59	48	40	34	30	27	25	.23	35		
 Территории больниц, санаториев, непосредственно прилегающие к зданию. Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам (в 2 м от ограждающих конструкций), площадки отдыха микрорайонов и 	59	48	40	34	30	27	25	23	35		
групп жилых домов, площадки детских до- школьных учреждений, участки школ 6. Классные помещения, учебные кабинеты, ауди- тории школ и других учебных заведений, кон- ференц-залы, читальные залы, эрительные залы	67	57	49	44	40	37	35	33	45		
театров, клубов, кинотеатров, залы судебных заседаний и совещаний • • • • • • • • 7. Рабочие помещения управлений, рабочие по-	63	52	45	39	35	32	30	28	40		
мещения конструкторских, проектных организаций и научно-исследовательских институтов.	71	61	54	49	45	42	40	38	50		
8. Залы кафе, ресторанов, столовых, фойе театров и кинотеатров	75	66	59	54	50	47	45	43	55		
приемные пункты предприятий бытового обслуживания	79	70	63	58	55	52	50	49	60		

Примечания: Т. Уровни звукового давления в октавных полосах частот в дБ, уровни звука и эквивалентные уровни звука в дБА для шума, создаваемого в помещениях и на территориях, прилегающих к зданиям, системами кондиционирования воздуха, воздушного отопления и вентиляции, следует принимать на 5 дБ ниже (поправка Δ_{π} =—5 дБ) указанных в табл. 1 или фактических уровней шума в помещениях в рабочее время, если последние не превышают значений, указанных в настоящей таблице (поправку для тонального шума по табл. 2 в этом случае принимать не следует).

2. Эквивалентные уровни звука в дБА для шума, создаваемого средствами транспорта (автомобиль-

2. Эквивалентные уровни звука в дБА для шума, создаваемого средствами транспорта (автомобильного, железнодорожного, воздушного) в 2 м от ограждающих конструкций зданий, обращенных в сторону источников шума, допускается принимать на 10 дБА выше (поправка $\Delta_{\mathbf{n}} = +10$ дБА) уровней звука, указан-

ных в поз. 5 табл. 1.