



Раздел 2.

Расчет звукоизоляции ограждающими конструкциями

Под звукоизолирующей способностью ограждения понимается величина снижения силы/уровня звука за ограждением при прямом способе распространения звука - зависит от материала, толщины, поверхностной плотности ограждения, частоты звука и др.

На практике звукоизолирующая способность ограждения оценивается двумя способами:

1. По частотной характеристике звукоизоляции - в зависимости от частоты звука - наиболее точно, но трудоемко и не позволяет однозначно сказать, соответствует ли ограждение действующим акустическим нормам.
2. Индексом изоляции воздушного шума ограждающими конструкциями R_w и индексом приведенного уровня ударного шума, L_{nw} (для перекрытий), дБА - интегральная оценка звукоизолирующей способности, полученная на основе частотной характеристики звукоизоляции по методике СНиП СНиП 23-03-2003 (СНиП II-12-77) "Защита от шума".

Частотная характеристика звукоизоляции определяется двумя способами:

1. Прямым измерением с помощью шумомера с частотными фильтрами в октавных и третьоктавных полосах частот :

а) для воздушного шума - определяется величина звукоизоляции;

б) для ударного шума - определяется уровень шума под перекрытием (дБА) при испытании на стандартной ударной машине.

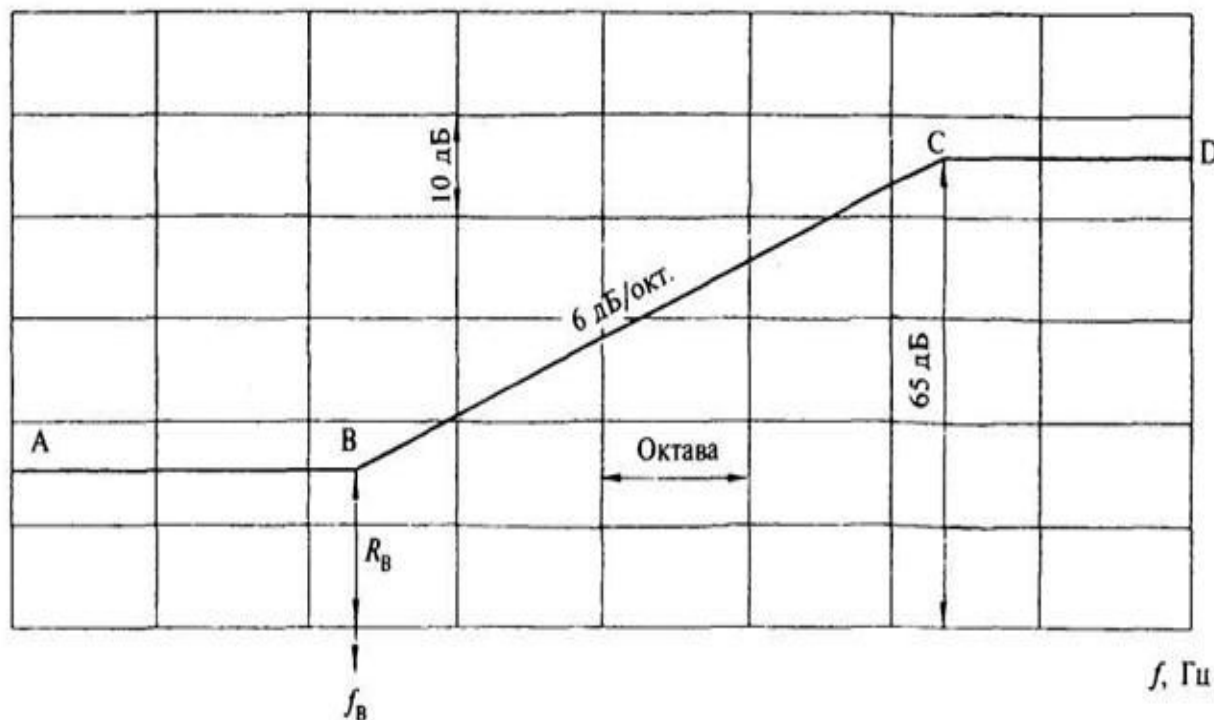
2. Графически по методике СНиП 23-03-2003 и СП 23-103-2003 (или по СНиП II-12-77) .

График строится в полулогарифмических координатах (каждая октава изображается одинаковым отрезком)

Вид графиков для однослойной конструкции:

а) для массивных ограждений с поверхностной плотностью от 100 до 800 кг/м² (кирпич, бетон, железобетон, деревянные брусья и т.д.)

R , дБ



Октавы $f_{cp} = 50$;
100; 200; 400; 800;
1600; 3200; 6400 Гц.

Третьооктавные
полосы $f_{cp} = 50$;
63; 80; 100; 125;
160; 200; 250; 320;
400; 500; 630; 800;
1000; 1250; 1600;
2000; 2500; 3200;
4000; 5000 Гц

Точка В строится по координатам R_B , f_B , остальные точки (А, С, D) - построением.

Абсцисса точки B — f_B определяется по таблице в зависимости от толщины и плотности материала конструкции.

Плотность бетона g , кг/м ³	f_B , Гц
1800	29000/ h
1600	31000/ h
1400	33000/ h
1200	35000/ h
1000	37000/ h
800	39000/ h
600	40000/ h
Примечания: 1 h — толщина ограждения, мм. 2 Для промежуточных значений g частота f_B определяется интерполяцией.	

Ордината точки B — R_B определяется в зависимости от эквивалентной поверхностной плотности m_g по формуле:

$$R_B = 20 \lg m_g - 12, \text{ дБ, где } m_g = K m, \text{ кг/м}^2,$$

где m — поверхностная плотность, кг/м² (для ребристых конструкций без учета ребер); K — коэффициент, учитывающий относительное увеличение изгибной жесткости ограждения из бетонов на легких заполнителях, поризованных бетонов и т.п. по отношению к конструкциям из тяжелого бетона с той же поверхностной плотностью.

Вид материала	Класс	Плотность, кг/м ³	K
1	2	3	4
Керамзитобетон	В 7,5	1500-1550	1,1
		1300-1450	1,2
		1200	1,3
		1100	1,4
	В 12,5 - В 15	1700-1750	1,1
		1500-1650	1,2
		1350-1450	1,3
		1250	1,4
Перлитобетон	В 7,5	1400-1450	1,2
		1300-1350	1,3
		1100-1200	1,4
		950-1000	1,5
Аглопоритобетон	В 7,5	1300	1,1
		1100-1200	1,2
		950-1000	1,3
	В 12,5	1500-1800	1,2
Шлакопемзобетон	В 7,5	1600-1700	1,2
	В 12,5	1700-1800	1,2
Газобетон, пенобетон, газосиликат	В 5,0	1000	1,5
		800	1,6
		600	1,7
Кладка из кирпича, пустотелых керамических блоков		1500-1600	1,1
		1200-1400	1,2
Гипсобетон, гипс (в том числе поризованный или с легкими заполнителями)	В 7,5	1300	1,3
		1200	1,4
		1000	1,5
		800	1,6

Для сплошных ограждающих конструкций
плотностью $g = 1800 \text{ кг/м}^3$ и более $K = 1$.

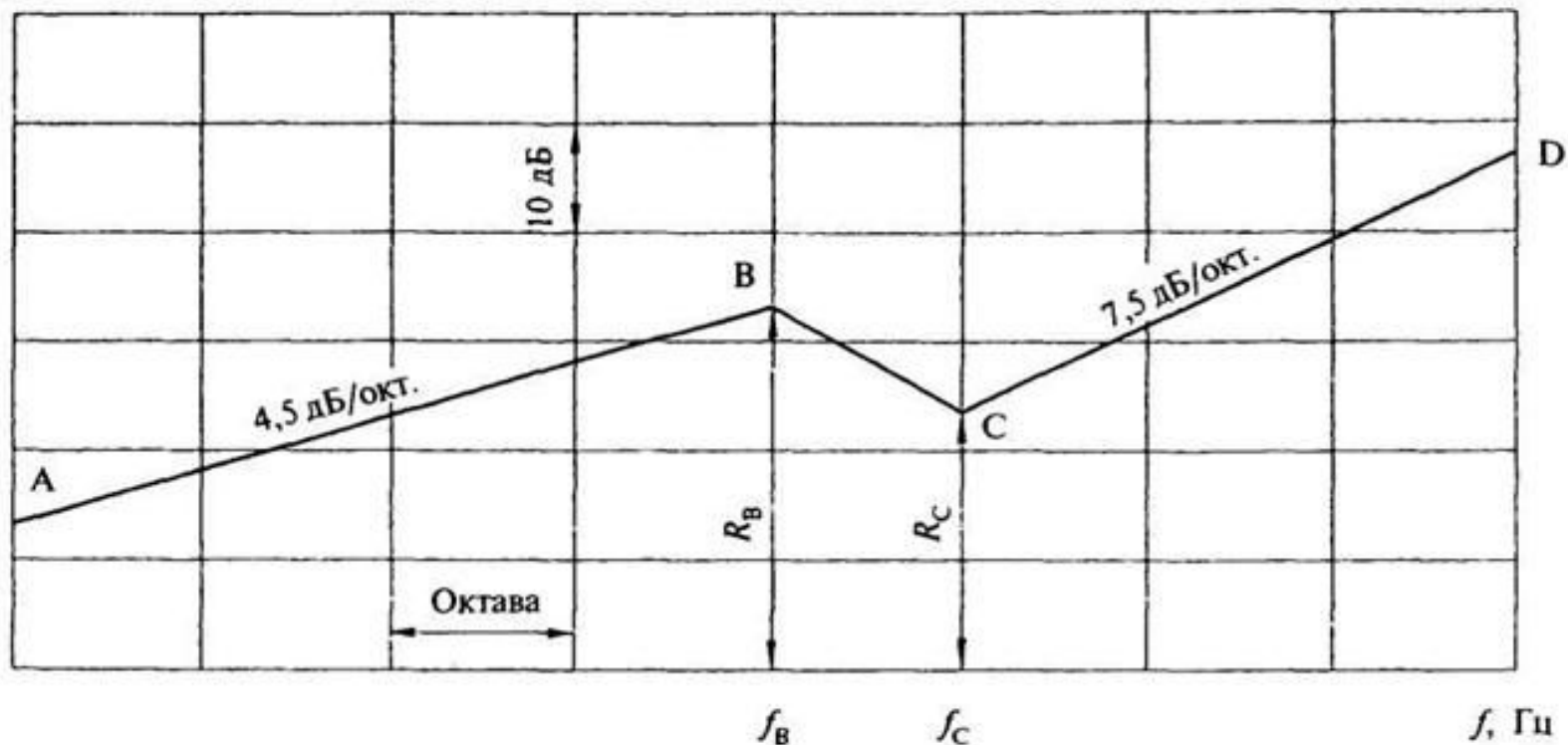
Для ограждений
из бетона
плотностью 1800 кг/м^3 и более с
круглыми
пустотами
коэффициент K
определяется по
формуле

$$K = 1,54 \sqrt{\frac{j}{bh_{\text{пр}}^3}}$$

где j — момент
инерции сечения,
 м^4 ;
 b — ширина
сечения, м;
 $h_{\text{пр}}$ — приведенная
толщина сечения,
м.

2) для металла, стекла, асбоцементного листа, гипсокартонных листов (сухой гипсовой штукатурки) и тому подобных материалов в области граничной частоты наблюдается провал до 10 дБ.

R , дБ



Точки В, С строятся по координатам, остальные точки (А, D) - построением.

Материалы	Плотность, кг/м ³	f_B , Гц	f_C , Гц	R_B , дБ	R_C , дБ
1. Сталь	7800	6000/ h	12000/ h	40	32
2. Алюминиевые сплавы	2500-2700	6000/ h	12000/ h	32	22
3. Стекло силикатное	2500	6000/ h	12000/ h	35	29
4. Стекло органическое	1200	17000/ h	34000/ h	37	30
5. Асбоцементные листы	2100	9000/ h	18000/ h	35	29
	1800	9000/ h	18000/ h	34	28
	1600	10000/ h	20000/ h	34	28
6. Гипсокартонные листы (сухая гипсовая штукатурка)	1100	19000/ h	38000/ h	36	30
	850	19000/ h	38000/ h	34	28
7. Древесно-стружечная плита (ДСП)	850	13000/ h	26000/ h	32	27
	650	13500/ h	27000/ h	30,5	26
8. Твердая древесно-волокнистая плита (ДВП)	1100	19000/ h	38000/ h	35	29
Примечание — h — толщина, мм.					

Значения f_B и f_C округляются до ближайшей среднегеометрической частоты 1/3-октавной полосы.

Звукоизоляция определяется тремя способами:

1. Прямым измерением с помощью промышленного (интегрирующего) шумомера с комплектом анализаторов (фильтров) для различных частот :

а) для воздушного шума - определяется интегральная величина звукоизоляции;

б) для ударного шума - определяется интегральный уровень шума под перекрытием (дБА) при испытании на стандартной ударной машине.

2. В зоне действия закона масс (после 2-3-кратной резонансной частоты) **расчетом** по приближенным формулам, дБА:

$$R \approx 20 \lg(m \cdot f) - 47,$$

или при $\rho > 200 \text{ кг/м}^3$

$$R_B \approx 23 \lg(k \cdot m) - 10,$$

$$k = 1$$

$$k = 1,25$$

$$k = \sqrt[4]{\frac{J}{B \cdot h_{cp}^3}}$$

где m - поверхностная
плотность, кг/м^2 ;

f - частота, Гц.

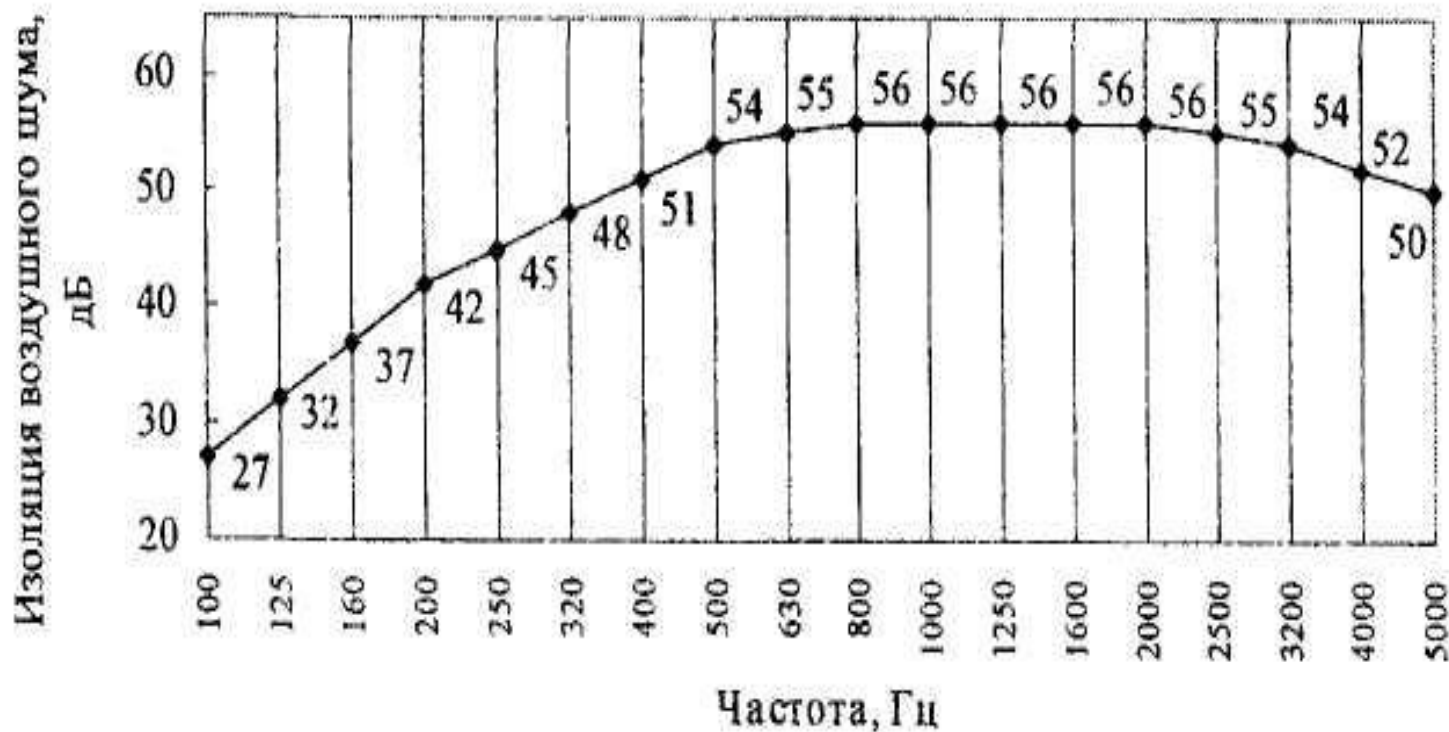
- при $\rho > 1800 \text{ кг/м}^3$;

- при $\rho = 1200 \dots 1300 \text{ кг/м}^3$;

- для бетона и железобетона.

3. По методике СНиП "Защита от шума" - определением индекса изоляции воздушного шума ограждающими конструкциями R_w и индекса приведенного уровня ударного шума L_{nw} (для перекрытий) - графическим (СНиП II-12-77) или табличным (СНиП 23-03-2003) наложением частотной характеристики звукоизоляции (замеренной или расчетной) на **нормативную частотную характеристику**

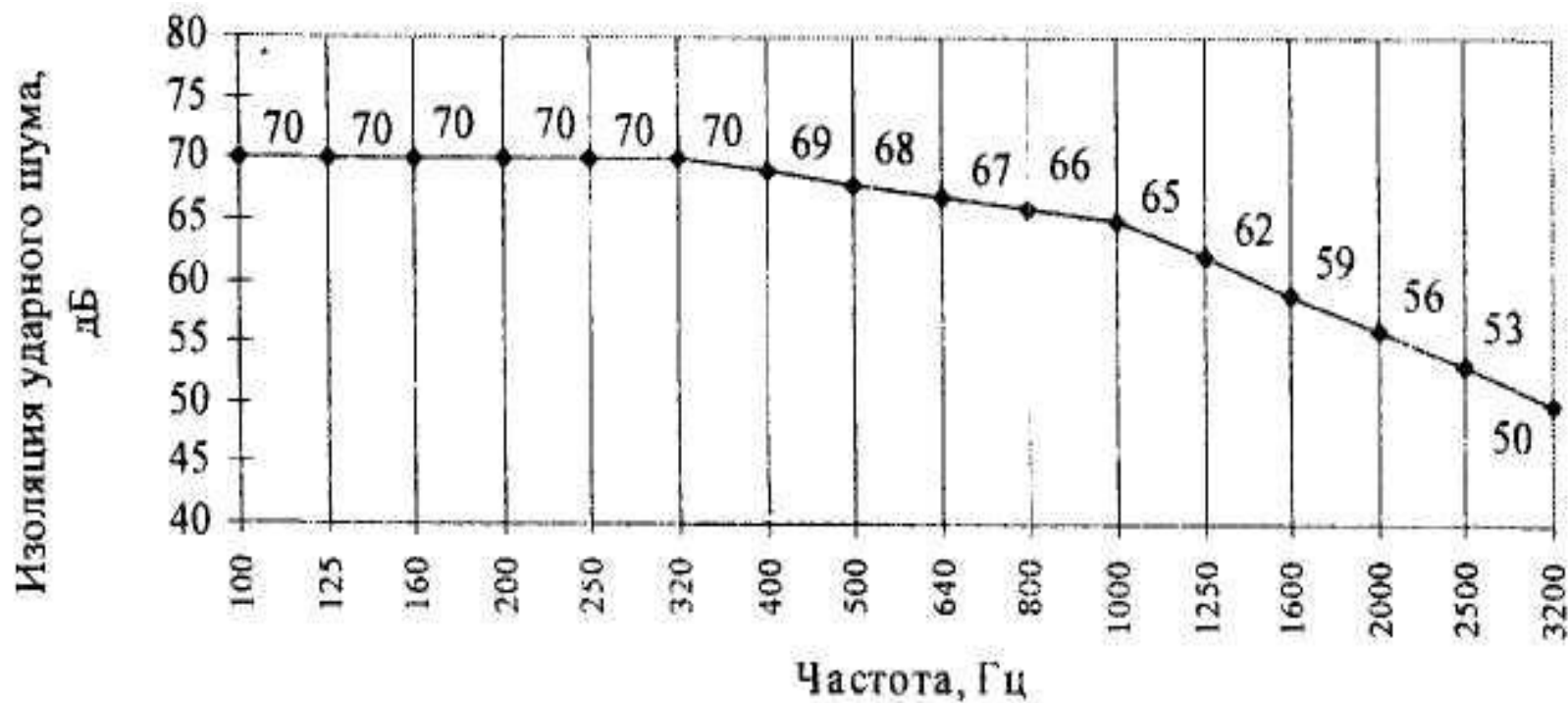
1. Нормативная кривая изоляции воздушного шума



По СНиП II-12-77 $I_B = 50 + \Delta_B$,

где Δ_B - поправка, определяемая сравнением с нормативной кривой (величина смещения кривой)

2. Нормативная кривая приведенного уровня ударного шума



По СНиП II-12-77 $I_y = 70 - \Delta_y$,

где Δ_y - поправка, определяемая сравнением с нормативной кривой (величина смещения кривой)

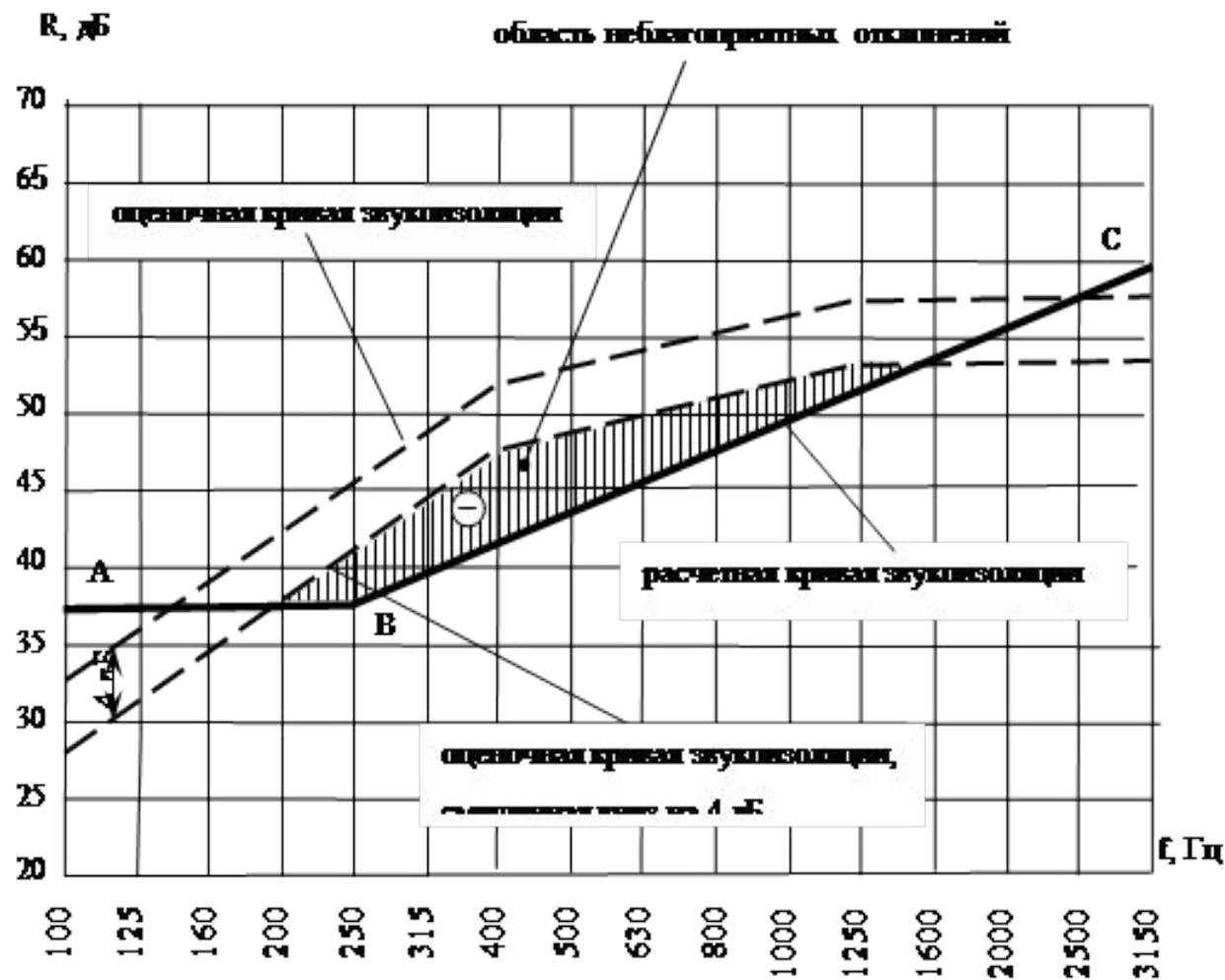
3. По СНиП 23-03-2003 нормативные (оценочные) кривые задаются таблично

№ пп.	Наименование показателя	Средние частоты третьоктавных полос, Гц															
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
1	Изоляция воздушного шума R , дБ	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
2	Приведенный уровень ударного шума L_n , дБ	62	62	62	62	62	62	61	60	59	58	57	54	51	48	45	42
3	Скорректированный уровень звукового давления эталонного спектра L_i , дБ	55	55	57	59	60	61	62	63	64	66	67	66	65	64	62	60

Нормируемыми параметрами звукоизоляции внутренних ограждающих конструкций жилых и общественных зданий, а также вспомогательных зданий производственных предприятий являются индексы изоляции воздушного шума ограждающими конструкциями R_w , дБ, и индексы приведенного уровня ударного шума, L_{nw} , дБ, (для перекрытий).

Нормируемым параметром звукоизоляции наружных ограждающих конструкций (в том числе окон, витрин и других видов остекления) является звукоизоляция $R_{Атран}$ дБА, представляющая собой изоляцию внешнего шума, производимого потоком городского транспорта.

А) Индекс изоляции воздушного шума R_w ограждающей конструкцией с известной (рассчитанной или измеренной) частотной характеристикой изоляции воздушного шума определяют путем сопоставления частотной характеристики с оценочной кривой.



Для определения индекса изоляции воздушного шума R_w необходимо определить сумму неблагоприятных отклонений данной частотной характеристики от оценочной кривой. Неблагоприятными считают отклонения вниз от оценочной кривой.

Обычно расчет проводят в табличной форме:

Частота Гц	Значение звукоизо- ляции R, дБ	Оценоч- ная кривая R _н , дБ	Отклонение значений R от норматива $\Delta R = R - R_n$, дБ	Оценочная кривая после смещения на Δ дБ , R _{см} , дБ	Отклонение значений R от норматива после смещения $\Delta R_{см} = R - R_{см}$, дБ
1	2	3	4	5	6
100					
125					
160					
...					
5000					

Сумма неблагоприятных отклонений = ... дБ.

Сумма неблагоприятных отклонений после смещения = ... дБ.

а) Если сумма неблагоприятных отклонений максимально приближается к 32 дБ, но не превышает эту величину, величина индекса R_w составляет 52 дБ.

б) Если сумма неблагоприятных отклонений превышает 32 дБ, оценочная кривая смещается **вниз** на целое число децибел так, чтобы сумма неблагоприятных отклонений не превышала указанную величину.

в) Если сумма неблагоприятных отклонений значительно меньше 32 дБ или неблагоприятные отклонения отсутствуют, оценочная кривая смещается **вверх** на целое число децибел так, чтобы сумма неблагоприятных отклонений от смещенной оценочной кривой максимально приближалась к 32 дБ, но не превышала эту величину.

За величину индекса R_w принимают ординату смещенной вверх или вниз оценочной кривой в третьоктавной полосе со среднегеометрической частотой 500 Гц.

Б) Индекс приведенного уровня ударного шума L_{nw} для перекрытия с известной частотной характеристикой приведенного уровня ударного шума определяют путем сопоставления этой частотной характеристики с оценочной кривой, приведенной в таблице, поз. 2.

Для вычисления индекса L_{nw} необходимо определить **сумму неблагоприятных отклонений** данной частотной характеристики от оценочной кривой. Неблагоприятными считают отклонения **вверх от оценочной кривой**.

а) Если сумма неблагоприятных отклонений максимально приближается к 32 дБ, но не превышает эту величину, то величина индекса L_{nw} составляет 60 дБ.

б) Если сумма неблагоприятных отклонений превышает 32 дБ, оценочная кривая смещается **вверх** (на целое число децибел) так, чтобы сумма неблагоприятных отклонений от смещенной кривой не превышала указанную величину.

в) Если сумма неблагоприятных отклонений значительно меньше 32 дБ или неблагоприятные отклонения отсутствуют, оценочная кривая смещается **вниз** (на целое число децибел) так, чтобы сумма неблагоприятных отклонений от смещенной кривой максимально приближалась к 32 дБ, но не превышала эту величину.

За величину индекса L_{nw} принимают ординату смещенной вверх или вниз оценочной кривой в третьоктавной полосе со среднегеометрической частотой 500 Гц.

В) Величину звукоизоляции окна $R_{A_{тран}}$, дБА, определяют на основании частотной характеристики изоляции воздушного шума окном с помощью эталонного спектра шума потока городского транспорта. (таблица, поз. 3).

Для определения величины звукоизоляции окна $R_{Атран}$ по известной частотной характеристике изоляции воздушного шума необходимо в каждой третьоктавной полосе частот из уровня эталонного спектра Li вычесть величину изоляции воздушного шума Ri данной конструкцией окна.

Полученные величины уровней следует сложить энергетически и результат сложения вычесть из уровня эталонного шума, равного 75 дБА.

Величину звукоизоляции окна $R_{Атран}$, дБА, определяют по формуле

$$R_{Атран} = 75 - 10 \lg \sum_{i=1}^{16} 10^{0,1 (L_i - R_i)},$$

где Li - скорректированные по кривой частотной коррекции звукового давления эталонного спектра в i -й третьоктавной полосе частот, дБА (принимают по таблице);

Ri - изоляция воздушного шума данной конструкцией окна в i -й третьоктавной полосе частот, дБА.

Нормативные требования к звукоизоляции окон

Назначение помещений	Требуемые значения $R_{дтр,ан}$, дБА, при эквивалентных уровнях звука у фасада здания при наиболее интенсивном движении транспорта (в дневное время, час «пик»), дБА				
	60	65	70	75	80
1 Палаты больниц, санаториев, кабинеты медицинских учреждений	15	15	20	25	30
2 Жилые комнаты квартир в домах:					
категории А	15	15	20	25	30
категорий Б и В	-	-	15	20	25
3 Жилые комнаты общежитий	-	-	-	15	20
4 Номера гостиниц:					
категории А	15	15	20	25	30
» Б	-	-	15	20	25
» В	-	-	-	15	20
5 Жилые помещения домов отдыха, домов-интернатов для инвалидов	15	15	20	25	30
6 Рабочие комнаты, кабинеты в административных зданиях и офисах:					
категории А	-	-	-	15	20
категорий Б и В	-	-	-	-	15

Г) Требуемую звукоизоляцию внутренних ограждающих конструкций в производственных зданиях следует определять в виде изоляции воздушного шума $R_{тр}$, дБА, в октавных полосах частот нормируемого диапазона.

Полученные результаты сравнивают с нормативными значениями R_w , L_{nw} для жилых, общественных и прочих зданий, а также для вспомогательных зданий производственных предприятий (табл. 6 СНиП) для категорий зданий А, Б и В.

- категория А — высококомфортные условия;
- категория Б — комфортные условия;
- категория В — предельно допустимые условия.

Нормативы установлены для 7 категорий зданий:

- жилые здания;
- гостиницы;
- административные здания и офисы;
- больницы, санатории;
- учебные заведения;
- детские дошкольные учреждения;
- вспомогательные и промышленные здания.

Наименование и расположение ограждающей конструкции	R_w , дБ	L_{nw} , дБ
Жилые здания		
1 Перекрытия между помещениями квартир и отделяющие помещения квартир от холлов лестничных клеток и используемых чердачных помещений: в домах категории А	54	55
» » Б	52	58
» » В	50	60
2 Перекрытия между помещениями квартир и расположенными под ними магазинами: в домах категории А	59	55
		45 ²
» » Б и В	57	58
		48 ²
3 Перекрытия между комнатами в квартире в двух уровнях: в домах категории А	47	60
» » Б	45	63
» » В	43	66
4 Перекрытия между жилыми помещениями общежитий	50	60
5 Перекрытия, отделяющие помещения культурно-бытового обслуживания общежитий друг от друга и от помещений общего пользования (холлы, вестибюли и пр.)	47	65 ¹
6 Перекрытия между помещениями квартиры и расположенными под ними ресторанами, кафе, спортивными залами в домах категории А	62	55
		45 ²
» категорий Б и В	60	58
		48 ²
7 Перекрытия между помещениями квартиры и расположенными под ними административными помещениями, офисами: в домах категории А	52	58 ²
» категорий Б и В	50	60 ²

Больницы и санатории		
27 Перекрытия между палатами, кабинетами врачей	47	60
28 Перекрытия между операционными и отделяющие операционные от палат и кабинетов	57	60
29 Перекрытия, отделяющие палаты, кабинеты врачей от помещений общего пользования (вестибюли, холлы)	52	63
30 Перекрытия, отделяющие палаты, кабинеты врачей от столовых, кухонь	57	50 ²
31 Стены и перегородки между палатами, кабинетами врачей	47	-
32 Стены и перегородки между операционными и отделяющие операционные от других помещений. Стены и перегородки, отделяющие палаты и кабинеты врачей от столовых и кухонь	57	-
33 Стены и перегородки, отделяющие палаты и кабинеты врачей от помещений общего пользования	52	-
Учебные заведения		
34 Перекрытия между классами, кабинетами, аудиториями и отделяющие эти помещения от помещений общего пользования (коридоры, вестибюли, холлы)	47	63
35 Перекрытия между музыкальными классами средних учебных заведений	57	58
36 Перекрытия между музыкальными классами высших учебных заведений	60	53
37 Стены и перегородки между классами, кабинетами и аудиториями и отделяющие эти помещения от помещений общего пользования	47	-
38 Стены и перегородки между музыкальными классами средних учебных заведений и отделяющие эти помещения от помещений общего пользования	57	-
39 Стены и перегородки между музыкальными классами высших учебных заведений	60	-
Детские дошкольные учреждения		
40 Перекрытия между групповыми комнатами, спальнями	47	63
41 Перекрытия, отделяющие групповые комнаты, спальни от кухонь	51	63 ²
42 Стены и перегородки между групповыми комнатами, спальнями и между другими детскими комнатами	47	-
43 Стены и перегородки, отделяющие групповые комнаты, спальни от кухонь	51	-
¹ Требование предъявляют также к передаче ударного шума в жилые помещения квартир при ударном воздействии на пол помещения смежной квартиры (в том числе и находящейся на том же этаже).		
² Требование предъявляют к передаче ударного шума в защищаемое от шума помещение при ударном воздействии на пол помещения, являющегося источником шума.		

Звукоизоляция конструкции с проемами

Окна и двери имеют малую массу и малую герметичность → ухудшают общую звукоизоляцию по сравнению с массивной частью конструкции.

Уменьшение тем больше, чем больше относительная площадь ослабленных участков, особенно если размеры проема близки к длине звуковой волны.

Величина звукоизоляции рассчитывается по следующим формулам:

$$R_{\text{общ}} = R - 10 \lg \frac{S / S_1 + 10^{\frac{R-R_1}{10}}}{1 + S / S_1}$$

Здесь S , R - площадь (м^2) и звукоизоляция (дБ) основной конструкции;

S_1 , R_1 - проема (окна или двери).

При $V/\lambda \approx 1$ (V - размер проема) прошедшая звуковая энергия пропорциональна площади отверстия

$$R_{общ} = R - 10 \lg \frac{1 + \frac{S_1}{S} 10^{\frac{R}{10}}}{1 + S_1 / S}$$

При $S_1/S \ll 1$

$$R_{общ} \approx 10 \lg \frac{S}{S_1}$$

Расчет проводят в октавных и третьоктавных полосах частот, но можно использовать и для определения индекса звукоизоляции.

Определение общего уровня звукового давления в помещении при нескольких источниках шума

$$L = 10 \lg \sum_{i=1}^n S_i \cdot 10^{\frac{L_i - R_i}{10}} - 10 \lg A, \quad \text{дБ}$$

Здесь

S_i , R_i - площадь и звукоизоляция i -той ограждающей конструкции;

L_i - уровень звукового давления за i -той ограждающей конструкцией;

$A = \alpha \cdot S$ - эквивалентная площадь звукопоглощения помещения;

α - коэффициент звукопоглощения.

Расчет обычно ведется в табличной форме:

Ограждение	$S_i, \text{ м}^2$	$R_i, \text{ дБ}$	$L_i, \text{ дБ}$	$S_i \cdot 10^{\frac{L_i - R_i}{10}}$
Наружная стена				
Внутренние стены				
Окно				
Дверь				

Рекомендуется:

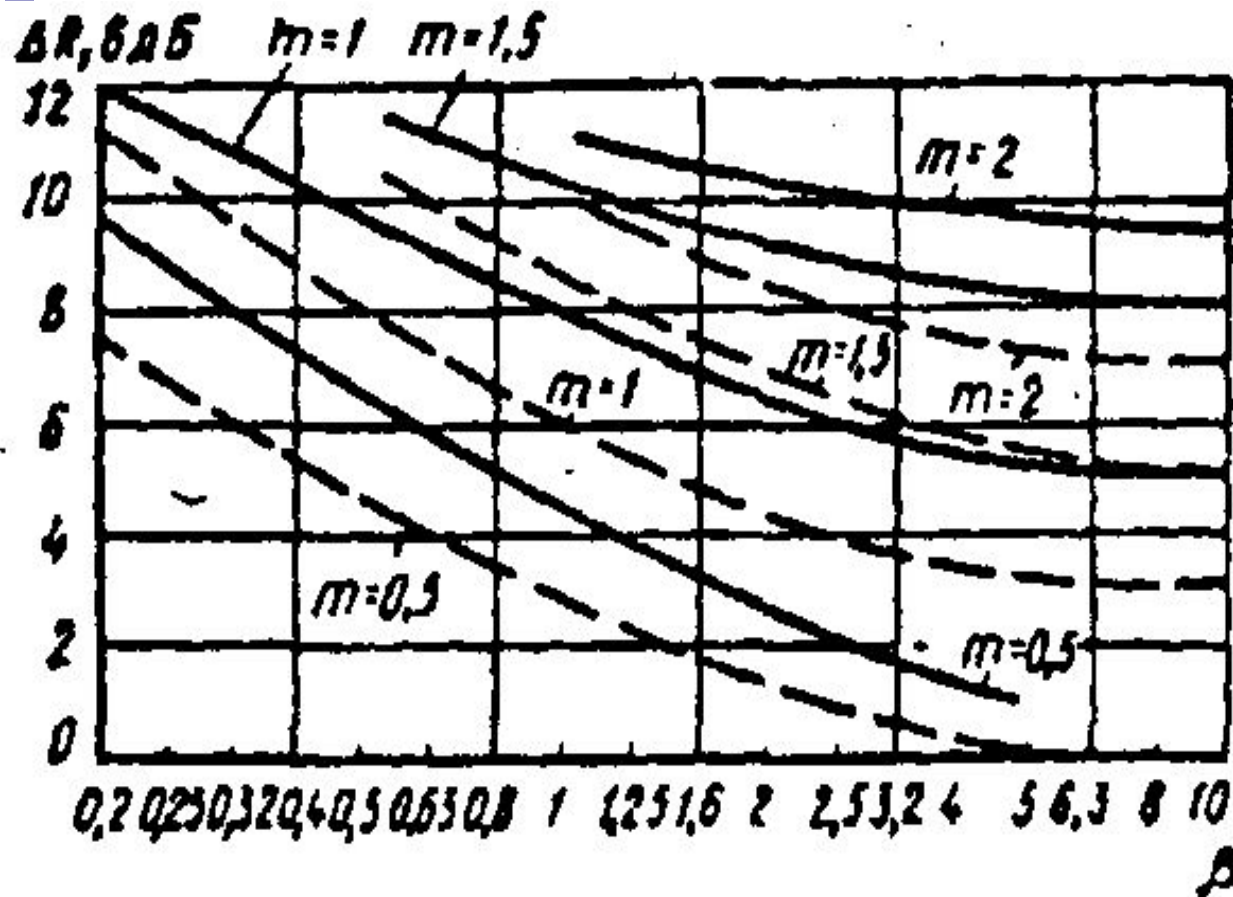
1. Увеличивать звукоизоляцию конструкции, начиная с более звукопроводных.
2. Уменьшать площади ограждения, отделяющие более шумные помещения.
3. Увеличивать звукопоглощение в изолируемом помещении.

Частотная характеристика многослойной конструкции

1. Частотная характеристика изоляции воздушного шума стеной с 2-мя плитами на отnose (из сухой штукатурки, древесноволокнистых или древесностружечных плит и т. п.)

строится путем прибавления к значениям частотной характеристики изоляции воздушного шума основной стеной (см. ранее) поправки ΔR_1 , определяемой по графику.

При устройстве указанной плиты на отnose с одной стороны стены величины ΔR_1 принимаются равными 2/3 значений ΔR_1 , определяемых по рис.



———— — перекрытие с полом на звукоизоляционном слое;

----- — перекрытие без пола на звукоизоляционном слое

$$m = \frac{m_1}{m_4}$$

$$\beta = m \sqrt{\left(\frac{c_1 h_1}{c_4 h_4} \right)^2},$$

где m_1 – поверхностная плотность несущей части перекрытия в кг/м²;

m_4 – поверхностная плотность поперечной стены или перегородки в кг/м²;

c_1, c_4 – скорости продольных волн соответственно в несущей части перекрытия и поперечной стене или перегородке в м/с (табл.);

h_1, h_4 – толщины соответственно несущей части перекрытия и поперечной стены или перегородки в м.

Материал	Скорость продольных волн в м/с
Тяжелый бетон	3700
Облегченный и легкий бетон	3500
Кирпичная кладка	2300

2. Двойное глухое остекление при одинаковой толщине стекол

График строится путем прибавления величины $5 + \Delta R_2$ к значениям частотной характеристики изоляции воздушного шума для одного стекла (см. ранее).

ΔR_2 определяется по графику.

$$f_p = 60 \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{d \cdot m_1 m_2}},$$

где m_1, m_2 – поверхностные плотности стекол в кг/м²;

d – размер воздушного промежутка в м.

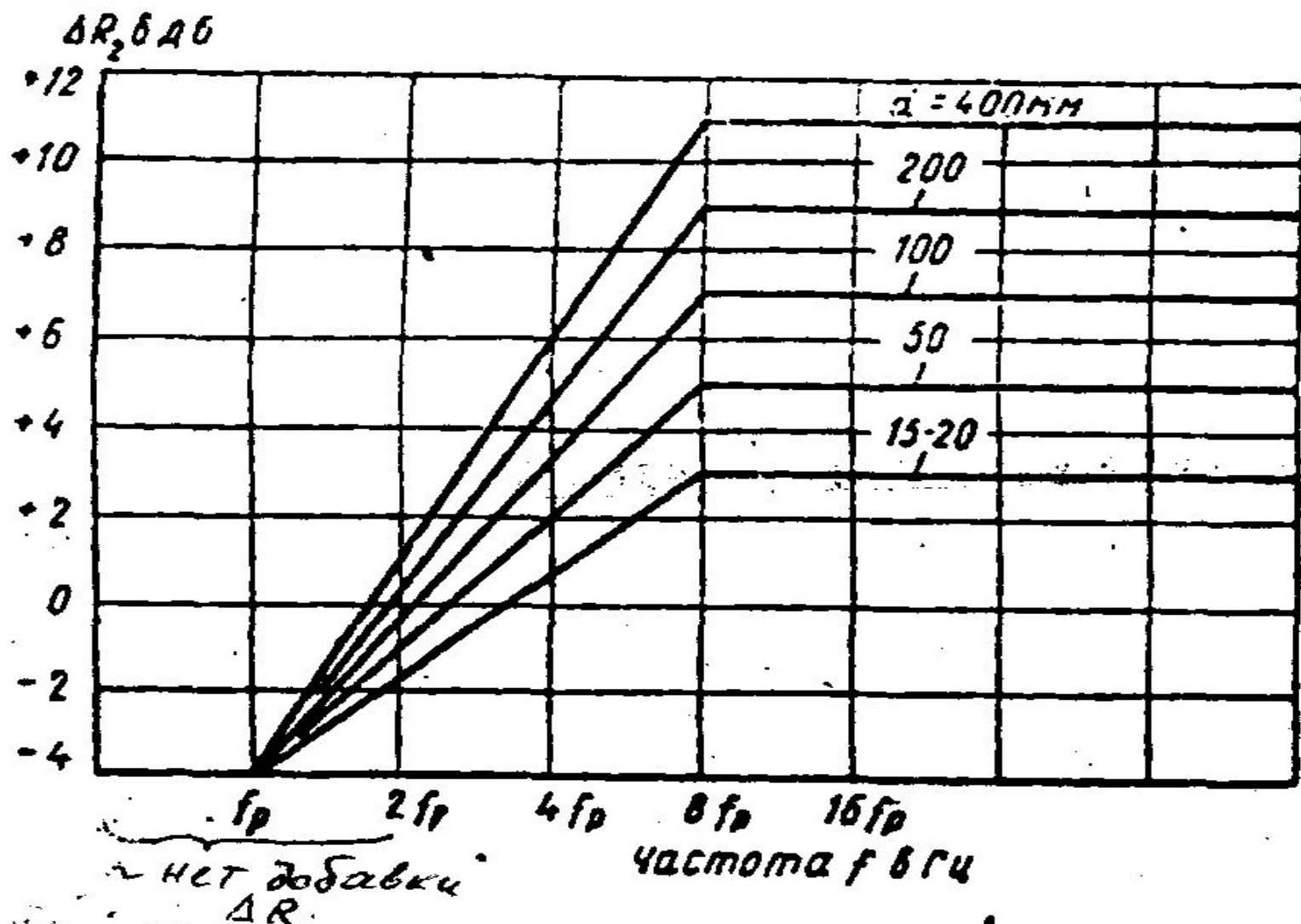
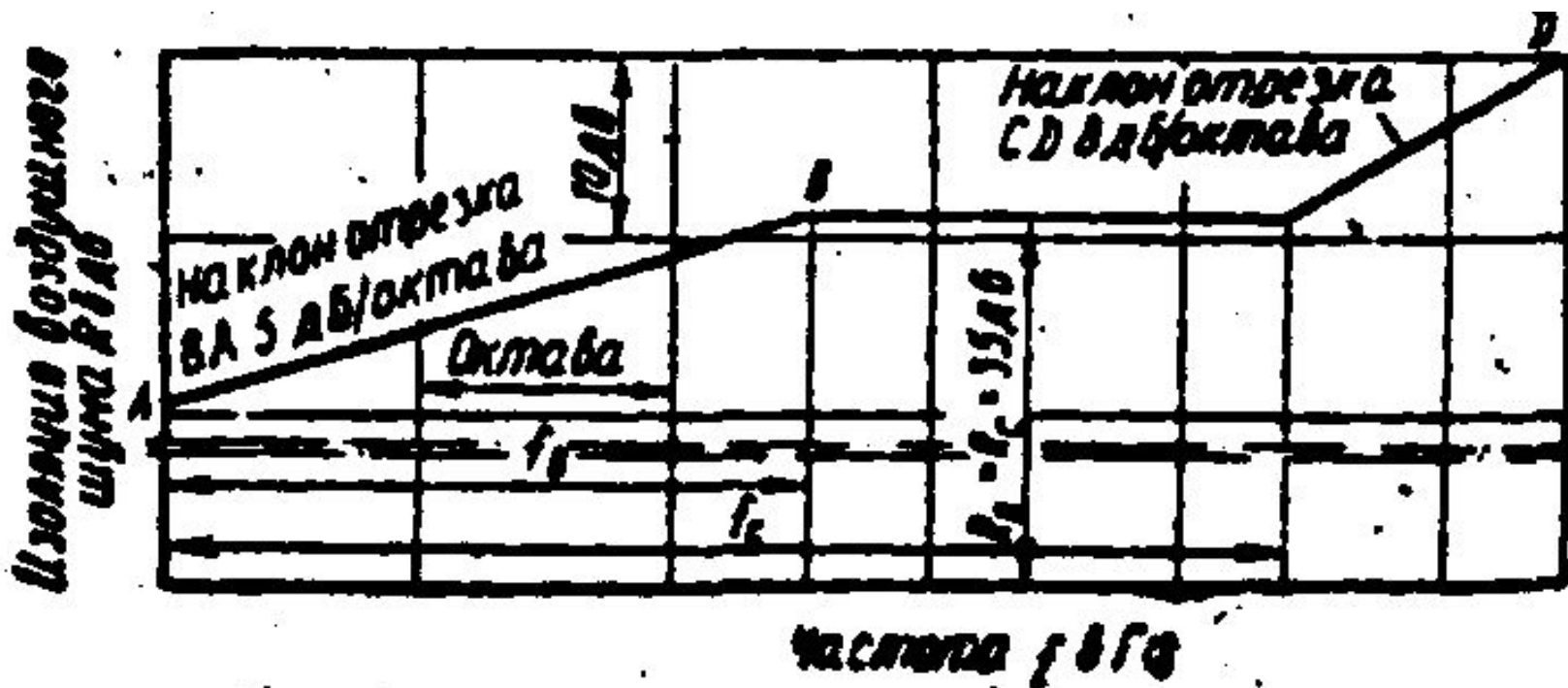


Рис. 13. График для определения повышения изоляции воздушного шума двойным глухим остеклением в зависимости от толщины воздушного промежутка

3. Двойное глухое остекление при разной толщине стекол (отношение толщин 0,4–0,8)

График строится путем прибавления величины $\Delta R_2 + \Delta R_3$ к значениям частотной характеристики изоляции воздушного шума, построенной аналогично рисунку



$$f_B = \frac{6000}{h_1};$$

где h_1, h_2 — толщины стекол в мм ($h_1 > h_2$).

$$f_C = \frac{12000}{h_2};$$

$$R_B = R_C = 35 \text{ дБ},$$

ΔR_2 определяется по графику (см. ранее).

Величина ΔR_3 составляет 3 дБ при $h_2/h_1 = 0,4 - 0,5$ и 4 дБ при $h_2/h_1 = 0,6 - 0,8$.

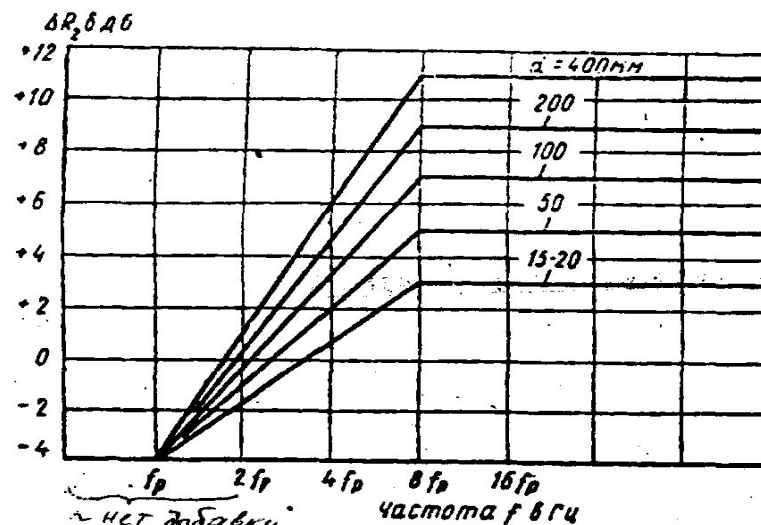


Рис. 13. График для определения повышения изоляции воздушного шума двойным глухим остеклением в зависимости от толщины воздушного промежутка