



**О Т Ч Е Т**  
**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБУЕМОЙ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ**  
**В ДОМАШНЕМ КИНОТЕАТРЕ**  
**В ИНДИВИДУАЛЬНОМ ЖИЛОМ ДОМЕ**

**Москва, август 2008 г.**

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Высокие уровни звука в домашнем кинотеатре могут ухудшить шумовые условия в соседних помещениях

Чтобы обеспечить шумовой комфорт в соседних помещениях ниже излагается методика расчета изоляции, позволяющая выбрать перегородку между помещениями, которая обеспечивает необходимую изоляцию.

## 2. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА

Домашний кинотеатр в "N" расположен на нулевом этаже.

Входная дверь отделяет кинозал от холла.

Справа от входной двери располагается передняя стена зала с экраном, за которой – служебное помещение (хранилище).

Напротив входной двери располагается боковая стена с окнами, за которой – открытое пространство.

Слева от входной двери – задняя стена, отделяющая кинозал от конференц-зала.

Над кинозалом на первом этаже располагается малая гостиная.

Основным источником шума служат звуковая система зала (для соседних помещений) и шум улицы (для кинозала).

## 3. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ИЗОЛЯЦИИ ВОЗДУШНОГО ШУМА

### 3.1. Требуемая звукоизоляция воздушного шума

Требуемая изоляция воздушного звука определяется по известной формуле:

$$R_{\text{тр}} = L_{\text{ш}} - 10\lg B + 10\lg S - L_{\text{доп}} - 10\lg k + 10\lg n, \text{ дБ}, \quad (1)$$

где

$L_{\text{ш}}$  - октавный уровень звукового давления (УЗД) в "шумном" помещении, дБ;

$B$  - акустическая постоянная "тихого" помещения,  $\text{м}^2$  (определяется по геометрическим и акустическим параметрам помещения согласно формуле  $B = 0.16 V/T$ , где  $V$  – объем помещения,  $\text{м}^3$ ,  $T$  – время реверберации, с);

$S$  - площадь конструкции, через которую проходит шум,  $\text{м}^2$ ;

$L_{\text{доп}}$  - допустимый октавный УЗД в "тихом" помещении, дБ (определяется нормативными документами);

$k$  - коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля, принимается по таблице 1 в зависимости от среднего коэффициента звукопоглощения в изолируемом помещении;

$n$  - общее количество ограждающих конструкций, через которые проникает шум.

Таблица 1. Зависимость  $k$  от среднего коэффициента звукопоглощения  $\alpha_{\text{ср}}$

$\alpha_{\text{ср}}$	$k$	$10\lg k$ , дБ
0.2	1.25	1
0.4	1.6	2
0.5	2.0	3

0.6	2.5	4
-----	-----	---

### 3.2. Расчетная звукоизоляция воздушного шума

Расчетную изоляцию однослойной перегородки  $R_{расч}$  будем определять эмпирическим законом масс, согласно которому

$$R_{расч} = 14.5 \lg(mf) - 26, \text{ (дБ)} \quad (2)$$

где  $m$  – поверхностная плотность перегородки, кг/м<sup>2</sup>,  
 $f$  – частота, Гц.

Обычно изоляция однослойной перегородки недостаточно высока.

Выход - в использовании многослойных перегородок.

Двухслойную конструкцию можно представить в виде двух неограниченных по протяженности плит, связанных упругим элементом. Тогда для достаточно низких частот (ниже критических частот для плит) конструкция представится в виде двухмассовой колебательной системы: поверхностная масса первой плиты – упругость материала в зазоре – поверхностная масса второй плиты. Частота собственных колебаний такой системы:

$$f_p = 0.225 \sqrt{c^2 \rho (1/m_1 + 1/m_2)/d}, \quad (3)$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – поверхностные массы соответственно первой и второй плит, кг/м<sup>2</sup>;

$d$  – толщина зазора, м;

$c$  – скорость звука в зазоре, м/с;

$\rho$  – плотность материала в зазоре, кг/м<sup>3</sup>.

Для воздуха  $c = 330$  м/с,  $\rho = 1.29$  кг/м<sup>3</sup>.

Зная  $m_1$ ,  $m_2$  и  $d$ , можно определить  $f_p$ .

Или наоборот, задавая  $f_p$ , можно определить  $d$  по формуле:

$$d = 0.05 c^2 \rho (1/m_1 + 1/m_2) / f_p^2 \quad (4)$$

Для частот  $f > f_p$  звукоизоляция сначала растет, а затем достигает локального минимума на частоте  $f_1$  основного резонанса воздушного промежутка, равной

$$f_1 = c/4d. \quad (5)$$

Эта частота обычно слишком высока.

Однако если заполнить воздушный промежуток материалом с низкой скоростью прохождения звука, например, плитами минеральной ваты, в которой  $c = 40$  м/с,  $\rho = 150$  кг/м<sup>3</sup>, то результат оказывается более приемлемым. При этом  $f_p$  изменяется незначительно.

При  $f > f_p$  и  $f > f_1$  звукоизоляция имеет вид последовательных достаточно широких максимумов, равных сумме звукоизоляции первой  $R_1$  и второй  $R_2$  плит, и узких минимумов, равных практически изоляции одностенной конструкции с суммарной массой обеих пластин при воздушном зазоре, и существенно сглаженных минимумов при заполнении зазора минватой. При  $R_1 > R_2$  для инженерного расчета изоляция на частоте  $f_p$  полагается равной  $R_1$ , на частоте  $2f_p$  – равной  $R_1 + R_2/2$ , а в диапазоне частот  $f > 4f_p$  звукоизоляция  $R_{расч}$  приравнивается сумме изоляций плит  $R_1$  и  $R_2$  (при заполнении зазора минватой - без поправочного коэффициента):

$$R_{расч} = R_1 + R_2. \quad (6)$$

Выполнение (6), как правило, обеспечивает вполне достаточную изоляцию для частотного диапазона  $f > 4 f_p$  и  $f > f_1$ .

### 3.3. Допустимые уровни шума и максимальные уровни звукового давления

Допустимый уровень шума определяется СНиП 23-03-2003 «Защита от шума».

**Таблица 1. Предельный октавный уровень шума в кинозалах, жилых помещениях и конференц-залах (L<sub>Аэкв</sub> = 40 дБА)**

Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
дБ	63	52	45	39	35	32	30	28

**Таблица 2. Предельные октавные уровни шума в фойе и холлах (L<sub>Аэкв</sub> = 50 дБА)**

Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
дБ	71	61	54	49	45	42	40	38

**Таблица 3. Предельные октавные уровни шума в технических помещениях (L<sub>Аэкв</sub> = 60 дБА)**

Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
дБ	75	70	63	58	55	52	50	49

Шумным «соседом» конференц-зала, холла и малой гостиной является звуковая система кинозала.

Для кинозала возможным источником шума может служить улица.

Октавные уровни шума в них обосновываются и приводятся ниже.

В таблице 4 даны октавные величины максимального уровня звука в кинозале с учетом следующих обстоятельств.

Максимальный уровень звука одного канала при воспроизведении цифровой фонограммы равен 105 дБ. Для цифровой фонограммы предусматривается подъем низких частот (10 дБ), что увеличивает уровень низких частот до 115 дБ. При работе трех фронтальных громкоговорителей и громкоговорителей канала эффектов в максимальном режиме уровень средних частот поднимается на 6 дБ и становится равным 111 дБ. Для частот выше 2 кГц предусмотрен спад электроакустической частотной характеристики с крутизной 3 дБ на октаву.

**Таблица 4. Спектр максимального уровня звуковой системы кинозала**

Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
дБ	115	111	111	111	111	111	108	105

Результаты измерений уровня шума близко расположенной улицы может определяться таблице 6.

**Таблица 5. Спектр максимального уровня шума улицы**

Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
дБ	95	85	83	83	81	76	70	65

## 4. РАСЧЕТ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ

### 4.1. Перегородка между кинозалом и конференц-залом

Расчет звукоизоляции перегородки между кинозалом и конференц-залом приведен в таблице 6.

**Таблица 6**  
**Требуемая и расчетная звукоизоляция воздушного шума перегородкой между кинозалом (з) и конференц-залом (к)**  
**(предлагаемая конструкция: железобетонная плита 250 мм + минвата 300 мм + 3 листа ГКЛ)**

N	Расчетная величина	Единица измерения	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								Индекс изоляции воздушного шума $R_w$ , дБ
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	$L_{ш}$ (з)	дБ	115	111	111	111	111	111	108	105	
2	$10\log B$ (к)	дБ	15								
3	$10\log S$ (с:з/к)	дБ	13								
4	$L_{доп}$ (к)	дБ	63	52	45	39	35	32	30	28	
5	$10\log k$	дБ	1								
6	$10\log n$	дБ	0								
7	$R_{треб}$ (с:з/к)	дБ	49	56	63	69	73	76	75	74	
8	$R_1$ (с)	дБ	41	45	49	54	58	62	67	71	
9	$R_2$ (с)	дБ	22	26	31	35	40	45	49	53	
10	$R_{расч}$ (с)	дБ	52	71	80	89	98	107	116	124	

В строке 1 даны октавные уровни эквивалентного шума  $L_{ш}(з)$  в кинозале из табл. 4.

В строке 2 дана величина логарифмического значения акустической постоянной  $B$  конференц-зала при его оптимальной акустической обработке.

В строке 3 дана логарифмическая величина площади  $S$  стены, разделяющей залы.

В строке 4 даны допустимые уровни шума в конференц-зале  $L_{доп}(к)$  из табл. 1.

В строке 5 выбирается логарифмическая величина коэффициента  $k$  из условия, что  $\alpha_{ср} = 0.15$ .

В строке 6 учитывается, что ограждающих конструкций – одна.

Используя приведенные данные и формулу (1), получим требуемую звукоизоляцию перегородки, разделяющей залы (строка 7).

Строительная основа перегородки – железобетонная плита толщиной 250 мм и плотностью 2500 кг/м<sup>3</sup>. Ее поверхностная плотность  $m_1 = 625$  кг/м<sup>2</sup>.

Воспользовавшись (2), рассчитаем ее изоляцию (строка 8).

Из сравнения строк 7 и 8 видно, что изоляции железобетонной плиты недостаточно.

Будем исходить из того, что перегородка между залами – двустенная с зазором между стенами. При некоторой достаточно высокой частоте (о которой речь пойдет ниже) изоляция двустенной перегородки будет определяться суммой изоляций одностенных перегородок.

Расчеты показывают, что вторая стена должна иметь поверхностную плотность  $m_2$  около 30 кг/м<sup>2</sup>, что соответствует трем листам ГКЛ.

Используя (2), получим изоляцию трехслойной гипсокартонной стены (строка 9).

Сумма двух строк (8 и 9) даст расчетную изоляцию (строка 10), удовлетворяющую требованиям (строка 7); на частоте 63 Гц – поправка, смысл которой будет пояснен ниже.

Осталось выяснить условия, при которых это сложение справедливо.

Поставляя в (4)  $m_1 = 625 \text{ кг/м}^2$ ,  $m_2 = 30 \text{ кг/м}^2$ , для  $f_p = 30 \text{ Гц}$  (низшая частота спектра усиливаемого звука) и имея в виду, что для воздуха  $c = 330 \text{ м/с}$ ,  $\rho = 1.29 \text{ кг/м}^3$ , получим  $d = 0.275 \text{ м}$ , т.е. примерно  $0.3 \text{ м}$ .

Подставляя  $d = 0.3 \text{ м}$  в (5), получим для воздуха в зазоре  $f_1 = 275 \text{ Гц}$ .

Эта частота слишком высока.

Однако если заполнить воздушный промежуток плитами минеральной ваты, в которой  $c = 40 \text{ м/с}$ ,  $\rho = 150 \text{ кг/м}^3$ , то при  $d = 0.3 \text{ м}$  из (3) и (5) получим

$$f_p = 38 \text{ Гц}, f_1 = 33 \text{ Гц}.$$

Этот результат вполне приемлем.

Таким образом, при заполненном минеральной ватой зазоре  $0.3 \text{ м}$  между железобетонной стеной и стеной из трех слоев ГКЛ на частоте  $f_p$  (ближайшая октавная частота  $32 \text{ Гц}$ ) изоляция полагается равной наибольшей величине (из  $R_1$  и  $R_2$ ), на частоте  $4f_p$  ( $128 \text{ Гц}$ ) происходит суммирование индексов изоляции согласно (6), а на промежуточной октавной частоте ( $64 \text{ Гц}$ ) изоляция равна наибольшей изоляции плюс половина наименьшей изоляции, что отражено в строке 10 таблицы 6.

Хотя расчетной изоляции двустенной перегородки (строка 10) вполне достаточно, тем не менее, для защиты конференц-зала от структурного шума необходима дополнительная стенка из одного листа гипсокартона на заполненном минватой отnose  $100 \text{ мм}$  от бетонной стены.

Следует отметить, что здесь и ниже на высоких частотах расчетные уровни изоляции в строках 10 таблиц неправдоподобно высоки. На практике они не измеряются из-за прохождения звука по косвенным путям.

#### 4.2. Перегородка между кинозалом и холлом

Требуемая изоляция перегородки, защищающей холл от звука в кинозале, рассчитывается в таблице 7.

Таблица 7

Требуемая и расчетная звукоизоляция воздушного шума перегородкой между кинозалом и холлом (предлагаемая конструкция: железобетонная плита  $250 \text{ мм}$  + минвата  $200 \text{ мм}$  + 3 лист ГКЛ)

N	Расчетная величина	Единица измерения	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								Индекс изоляции воздушного шума $R_w$ , дБ
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	$L_{ш}$ (з)	дБ	115	111	111	111	111	111	108	105	
2	$10\log B$ (х)	дБ	15								
3	$10\log S$ (с:з/х)	дБ	13								
4	$L_{доп}$ (х)	дБ	71	61	54	49	45	42	40	38	
5	$10\log k$	дБ	1								
6	$10\log n$	дБ	3								
7	$R_{треб}$ (с:з/х)	дБ	44	50	57	62	66	69	68	67	
8	$R_1$ (с)	дБ	41	45	49	54	58	62	67	71	
9	$R_2$ (с)	дБ	16	20	25	29	33	38	42	46	
10	$R_{расч}$ (с)	дБ	45	60	74	83	91	100	109	117	

В строке 1 приведены октавные величины максимального уровня  $L_{ш}(з)$  в кинозале, взятые из табл. 4.

В строке 2 дана величина логарифмического значения акустической постоянной  $B$  холла при его оптимальной акустической обработке (стандартный подвесной офисный потолок из акустической плиты толщиной  $40 \text{ мм}$ ).

В строке 3 дана логарифмическая величина площади  $S$  общей стены.

В строке 4 даны допустимые уровни шума в холле  $L_{\text{доп}}(x)$  из табл. 2.

В строке 5 выбирается логарифмическая величина коэффициента  $k$  из условия, что  $\alpha_{cp} = 0.25$ .

В строке 6 учитывается, что ограждающих конструкций – две (стена и дверь).

В строке 7 приведены результаты расчета требуемой звукоизоляции  $R_{\text{треб}}$  стены между кинозалом и холлом.

В строке 8 дана звукоизоляция железобетонной плиты толщиной 250 мм. Видно, что ее звукоизоляции недостаточно.

Расчеты показывают, что необходима вторая стена, которая должна иметь поверхностную плотность  $m_2$  около 30 кг/м<sup>2</sup>, что соответствует трем листам ГКЛ (строка 9) на основе 200 мм, заполненном минватой.

Из (3) и (5) следует, что для этой конструкции

$$f_p = 45 \text{ Гц}, f_1 = 50 \text{ Гц}.$$

Исходя из этих данных, рассчитывается строка 10. Из сравнения этих данных с требуемыми значениями изоляции (строка 7) видно, что изоляции предлагаемой двустенной перегородки вполне достаточно.

#### 4.3. Двери: кинозал - холл

Кинозал и холл соединяются дверью.

Рассчитанная требуемая изоляция двери в стене между кинозалом и холлом приведена в строке 7 таблицы 8. Она трудно достижима для одиночной двери. Например, деревянная дверь с плотностью полотна около 40 кг/м<sup>2</sup> и с упругими прокладками по периметру полотна и коробки имеет индекс изоляции всего 36 дБ (строка 8 в таблице 8).

**Таблица 8**  
**Требуемая и расчетная звукоизоляция воздушного шума дверью, разделяющей кинозал и холл**  
**(предлагаемая конструкция: дверь 40 кг/м<sup>2</sup> + тамбур 0.6 м + дверь 40 кг/м<sup>2</sup>)**

N	Расчетная величина	Единица измерения	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								Индекс изоляции воздушного шума $R_w$ , дБ
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	$L_{ш}(з)$	дБ	115	111	111	111	111	111	108	105	
2	$10\log B(x)$	дБ	15								
3	$10\log S(д:з/х)$	дБ	4								
4	$L_{доп}(х)$	дБ	71	61	54	49	45	42	40	38	
5	$10\log k$	дБ	2								
6	$10\log n$	дБ	3								
7	$R_{треб}(д:з/х)$	дБ	34	40	47	52	56	59	58	57	52
8	$R_1(д)$	дБ	23	27	32	36	40	45	49	53	36
9	$R_{расч}(д+д)$	дБ	46	54	64	72	80	90	98	106	72

Поэтому вместо одиночной двери следует устанавливать две двери, разделенные заглушенным тамбуром; если глубина тамбура будет 1 м, то из (3) и (5) следует, что для этой конструкции

$$f_p = 18 \text{ Гц}, f_1 = 82 \text{ Гц}.$$

В целом звукоизоляция такой системы окажется вполне достаточной (строка 9), однако она будет недостаточной на отдельных частотах в низкочастотном диапазоне. Тем не менее, практический опыт и измерения подтверждают достаточно высокую изоляцию таких тамбурных систем.

Если задать поднять  $f_p = 32$  Гц, то это позволит уменьшить глубину тамбура до 0.35 м. Однако при этом  $f_1 = 236$  Гц, т.е. ухудшится изоляция на отдельных частотах.

Вариант более легких дверей (20 кг/м<sup>2</sup>) при  $f_p = 32$  Гц потребует глубины тамбура до 0.7 м.

#### 4.4. Перегородка между кинозалом и хранилищем

Требуемая изоляция перегородки, защищающей хранилище от звука в кинозале, рассчитывается в таблице 9.

**Таблица 9**  
**Требуемая и расчетная звукоизоляция воздушного шума перегородкой между кинозалом и техническим помещением - хранилищем**  
**(предлагаемая конструкция: железобетонная плита 250 мм + минвата 100 мм + 1 лист ГКЛ)**

N	Расчетная величина	Единица измерения	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								Индекс изоляции воздушного шума $R_w$ , дБ
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	$L_{ш}$ (з)	дБ	115	111	111	111	111	111	108	105	
2	$10\log B$ (т)	дБ	17								
3	$10\log S$ (с:з/т)	дБ	13								
4	$L_{доп}$ (т)	дБ	75	70	63	58	55	52	50	49	
5	$10\log k$	дБ	1								
6	$10\log n$	дБ	0								
7	$R_{треб}$ (с:з/т)	дБ	35	36	43	49	51	54	53	51	
8	$R_1$ (с)	дБ	41	45	49	54	58	62	67	71	
9	$R_2$ (с)	дБ	16	20	25	29	33	38	42	46	
10	$R_{расч}$ (с)	дБ	41	45	61	83	91	100	109	117	

В строке 1 приведены октавные величины максимального уровня  $L_{ш}(з)$  в кинозале, взятые из табл. 4.

В строке 2 дана величина логарифмического значения акустической постоянной  $B$  хранилища при его оптимальной акустической обработке (стандартный подвесной офисный потолок из акустической плиты толщиной 40 мм).

В строке 3 дана логарифмическая величина площади  $S$  общей стены.

В строке 4 даны допустимые уровни шума в хранилище  $L_{доп}(х)$  из таблицы 3.

В строке 5 выбирается логарифмическая величина коэффициента  $k$  из условия, что  $\alpha_{ср} = 0.25$ .

В строке 6 учитывается, что ограждающих конструкций – одна (стена).

В строке 7 приведены результаты расчета требуемой звукоизоляции  $R_{треб}$  стены между кинозалом и хранилищем.

В строке 8 дана звукоизоляция железобетонной плиты толщиной 250 мм. Видно, что ее звукоизоляции вполне достаточно.

Тем не менее, для защиты кинозала от структурного шума необходима дополнительная стенка из одного листа гипсокартона на заполненном минватой отnose 100 мм от бетонной стены; изоляция одного листа ГКЛ дана в строке 9.

Расчеты показывают, что для этой двустенной конструкции

$$f_p = 110 \text{ Гц}, f_1 = 100 \text{ Гц}.$$

Исходя из этих данных, рассчитывается строка 10. Из сравнения этих данных с требуемыми значениями изоляции (строка 7) видно, что изоляции предлагаемой двустенной перегородки вполне достаточно.



#### 4.5. Перегородка: кинозал – улица

Требуемая изоляция перегородки между кинозалом и улицей рассчитывается в таблице 10.

Таблица 10

Требуемая и расчетная звукоизоляция воздушного шума перегородкой между залом и улицей (предлагаемая конструкция: железобетонная плита 250 мм + минвата 100 мм + 1 лист ГКЛ)

N	Расчетная величина	Единица измерения	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								Индекс изоляции воздушного шума $R_w$ , дБ
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	$L_{ш}(y)$	дБ	95	85	83	83	81	76	70	65	
2	$10\log B(з)$	дБ	18								
3	$10\log S(с:з/y)$	дБ	12								
4	$L_{доп}(з)$	дБ	63	52	45	39	35	32	30	28	
5	$10\log k$	дБ	2								
6	$10\log n$	дБ	6								
7	$R_{треб}(с:з/y)$	дБ	30	31	36	42	44	42	38	35	
8	$R_1(с)$	дБ	41	45	49	54	58	62	67	71	
9	$R_2(с)$	дБ	16	20	25	29	33	38	42	46	
10	$R_{расч}(с)$	дБ	41	45	61	83	91	100	109	117	

В строке 1 приведены октавные величины максимального уровня  $L_{ш}(y)$  транспортного шума, взятые из табл. 5.

В строке 2 дана величина логарифмического значения акустической постоянной  $B$  кинозала при его оптимальной акустической обработке.

В строке 3 дана логарифмическая величина площади  $S$  перегородки между залом и улицей.

В строке 4 даны допустимые уровни шума в зале  $L_{доп}(з)$  согласно таблице 1.

В строке 5 выбирается логарифмическая величина коэффициента  $k$  из условия, что  $\alpha_{ср} = 0.34$ .

В строке 6 учитывается, что ограждающих конструкций – четыре (перегородка и три окна).

Используя приведенные данные и формулу (1), получим требуемую звукоизоляцию перегородки (строка 7).

В строке 8 приведена изоляция железобетонной плиты толщиной 250 мм. Видно, что изоляции плиты вполне достаточно.

Тем не менее, для защиты от структурного шума необходима вторая стена из одного листа гипсокартона (строка 9) на заполненном минватой отnose 100 мм от бетонной плиты.

#### 4.6. Окно: кинозал – улица

Требуемая изоляция окна между кинозалом и улицей рассчитывается в таблице 11.

В строке 1 приведены октавные величины максимального уровня  $L_{ш}(y)$  транспортного шума, взятые из табл. 5.

В строке 2 дана величина логарифмического значения акустической постоянной  $B$  кинозала при его оптимальной акустической обработке.

В строке 3 дана логарифмическая величина площади  $S$  окна между залом и улицей.

В строке 4 даны допустимые уровни шума в зале  $L_{доп}(з)$  согласно таблице 1.

В строке 5 выбирается логарифмическая величина коэффициента  $k$  из условия, что  $\alpha_{ср} = 0.34$ .

**Таблица 11**  
**Требуемая и расчетная звукоизоляция воздушного шума окна между кинозалом и улицей**  
**(предлагаемая конструкция: стекло толщиной не менее 4 мм)**

N	Расчетная величина	Единица измерения	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								Индекс изоляции воздушного шума $R_w$ , дБ
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	$L_{ш}$ (у)	дБ	95	85	83	83	81	76	70	65	
2	$10\log B$ (з)	дБ	18								
3	$10\log S$ (о:з/у)	дБ	-1								
4	$L_{доп}$ (з)	дБ	63	52	45	39	35	32	30	28	
5	$10\log k$	дБ	2								
6	$10\log n$	дБ	6								
7	$R_{треб}$ (о:з/у)	дБ	17	18	23	29	31	29	25	22	29
8	$R_{расч}$ (о)	дБ	16	20	24	29	34	38	42	47	29

В строке 6 учитывается, что ограждающих конструкций – четыре (перегородка и три окна).

Используя приведенные данные и формулу (1), получим требуемую звукоизоляцию окна (строка 7).

Используя формулу (2), получим необходимую поверхностную плотность стекла (12 кг/м²). Принимая плотность стекла равной 3000 кг/м³, определим необходимую толщину стекла (4 мм).

В строке 8 приведена изоляция оконного стекла толщиной 4 мм. Видно, что изоляции такого оконного стекла достаточно.

#### 4.7. Перекрытие между кинозалом и гостиной

Над кинозалом находится малая гостиная.

Оценим защиту гостиной от воздушного шума звуковой системы кинозала (табл. 12).

**Таблица 12**  
**Требуемая и расчетная звукоизоляция воздушного шума перекрытием кинозала**  
**(предлагаемая конструкция: железобетонная плита 200 мм + минвата 300 мм + 3 листа ГКЛ)**

N	Расчетная величина	Единица измерения	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								Индекс изоляции воздушного шума $R_w$ , дБ
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	$L_{ш}$ (з)	дБ	115	111	111	111	111	111	108	105	
2	$10\log B$ (г)	дБ	15								
3	$10\log S$ (п:з/г)	дБ	14								
4	$L_{доп}$ (г)	дБ	63	52	45	39	35	32	30	28	
5	$10\log k$	дБ	1								
6	$10\log n$	дБ	0								
7	$R_{треб}$ (п:з/г)	дБ	50	57	64	70	74	77	76	75	
8	$R_1$ (п)	дБ	39	43	48	52	56	61	65	69	
9	$R_2$ (п)	дБ	22	26	31	35	40	45	49	53	
10	$R_{расч}$ (п)	дБ	50	69	79	87	96	106	111	112	

В строке 1 приведены октавные величины максимального уровня  $L_{ш}(з)$  в кинозале, взятые из табл. 4.

В строке 2 дана величина логарифмического значения акустической постоянной  $B$  гостиной при его оптимальной акустической обработке (стандартный подвесной офисный потолок из акустической плиты толщиной 40 мм или наличие мягкой мебели).

В строке 3 дана логарифмическая величина площади  $S$  потолка кинозала.

В строке 4 даны допустимые уровни шума в гостиной  $L_{доп}(г)$  из табл. 1.

В строке 5 выбирается логарифмическая величина коэффициента  $k$  из условия, что  $\alpha_{cp} = 0.25$ .

В строке 6 учитывается, что ограждающих конструкций – одна (перекрытие).

В строке 7 приведены результаты расчета требуемой звукоизоляции  $R_{\text{треб}}$  перекрытия между кинозалом и гостиной.

В строке 8 дана звукоизоляция железобетонной плиты толщиной 200 мм. Видно, что ее звукоизоляции недостаточно.

Необходим дополнительный подвесной потолок из трех листов ГКЛ (изоляция дана в строке 9) на заполненном минватой отnose 0.3 м от основной плиты перекрытия.

Расчетная изоляция такого двуслойного перекрытия приведена в строке 10.

## 5. ИЗОЛЯЦИЯ КОСВЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ ЗВУКА

Проникновение звука из одного помещения в соседнее определяется не только звукоизоляцией их общей разделяющей поверхности, но также изоляцией косвенной передачи звука по примыкающим поверхностям.

Изоляция косвенной передачи звука  $R_k$  определяется формулой

$$R_k = R_n + D + 10 \log(S_p / S_n) \quad (7)$$

где индекс "р" относится к разделяющей поверхности, индекс "п" относится к примыкающим поверхностям,  $R_n$  – звукоизоляция примыкающей поверхности при непосредственном проникновении звука через нее,  $S$  – площадь,  $D$  – изоляция стыка, определяемая из формулы

$$D = 20 \log(m_p / m_n) + 12 \text{ дБ, если } m_p > 0.4 m_n \quad (8a)$$

$$D = 4 \text{ дБ, если } m_p < 0.4 m_n \quad (8б)$$

где  $m$  – поверхностная плотность.

Рассмотрим путь кинозал - пол кинозала - пол конференц-зала – конференц-зал.

Таблица 13

Требуемая и расчетная изоляция косвенной передачи звука полом между кинозала (з) и полом конференц-зала (к)  
(предлагаемая конструкция: железобетонная плита 250 мм + минвата 300 мм + 3 листа ГКЛ)

N	Расчетная величина	Единица измерения	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								Индекс изоляции воздушного шума $R_w$ , дБ
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	$L_{ш} (з)$	дБ	115	111	111	111	111	111	108	105	
2	$10\log B$ (к)	дБ	15								
3	$10\log S$ (п:з/к)	дБ	17								
4	$L_{доп} (к)$	дБ	63	52	45	39	35	32	30	28	
5	$10\log k$	дБ	1								
6	$10\log n$	дБ	0								
7	$R_{треб} (п:з/к)$	дБ	53	60	67	73	77	80	79	78	
8	$10\log (S_p / S_n )$	дБ	-6								
9	$D$	дБ	4								
10	$R_n$	дБ	44	48	53	57	61	66	70	74	
11	$R_k$	дБ	42	46	51	55	59	64	68	72	

Требуемая изоляция (строка 7 в таблице 13) определилась формулой (1) из следующих условий: звук из кинозала; проникающий по косвенному пути, излучается полом конференц-зала. Необходимо, чтобы косвенная изоляция была не хуже требуемой.

Пол из железобетонной плиты 450 мм имеет поверхностную плотность (примыкающей поверхности)  $m_n = 1125 \text{ кг/м}^2$  и площадь (примыкающих поверхностей кинозала и конференц-зала)  $S_n = 83 \text{ м}^2$ .

Разделяющая поверхность (стена) имеет поверхностную плотность  $m_p = 650 \text{ кг/м}^2$  и площадь  $S_p = 20 \text{ м}^2$ .

Из (86) и (7) получим расчетную изоляцию косвенной передачи (строки 8 – 11) в таблице 13).

Из сравнения требуемой (строка 7) и расчетной (строка 11) таблицы 13 видно, что изоляции косвенной передачи через пол явно недостаточно.

Радикальное решение проблемы – увеличение сопротивления стыка путем устройства раздельных полов для кинозала и конференц-зала. Если это не удастся сделать, то на средних и высоких (но не на низких) частотах улучшит изоляцию плавающий пол, не имеющий жесткого контакта с основным бетонным полом.

Для потолка ситуацию с изоляцией косвенной передачи улучшает дополнительный подвесной потолок. Тем не менее, желательно увеличить изоляцию стыка, не допуская жесткого контакта плит перекрытия кинозала и конференц-зала.

## 6. ЗАЩИТА ОТ СТРУКТУРНОГО ШУМА

Шум может возбуждаться и распространяться в конструкциях помещения. Для защиты важных с акустической точки зрения помещений от структурного шума, который может излучаться необлицованными перегородками, используется облицовка из одного листа ГКЛ на основе 100 мм, заполненным минватой.

## 7. КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ПОМЕЩЕНИЙ

### 1. Перегородка между кинозалом и конференц-залом (рис. 1):

- акустическая облицовка конференц-зала (определяется акустическим проектом);
- 1 слой ГКЛ;
- минераловатные плиты толщиной 100 мм;
- железобетонная плита толщиной 250 мм;
- минераловатные плиты общей толщиной 300 мм;
- 3 слоя ГКЛ;
- акустическая облицовка кинозала (определяется акустическим проектом).

### 2. Перегородка между кинозалом и холлом (рис. 2):

- облицовка холла;
- железобетонная плита толщиной 250 мм;
- минераловатные плиты общей толщиной 300 мм;
- 2 слоя ГКЛ;
- акустическая облицовка кинозала (определяется акустическим проектом).

### 3. Дверь между кинозалом и холлом:

- дверь с поверхностной плотностью не менее  $40 \text{ кг/м}^2$ ;
- тамбур глубиной 0,6 м, с акустической плитой на потолке и стенах;
- дверь с поверхностной плотностью не менее  $40 \text{ кг/м}^2$ .

#### Примечание.

Двери должны иметь уплотнение по всему периметру, включая уплотнение для нижней кромки.

**4. Перегородка между кинозалом и хранилищем (рис. 3):**

- акустическая облицовка зала (определяется акустическим проектом);
- 1 слой ГКЛ;
- минераловатные плиты толщиной 100 мм;
- железобетонная плита толщиной 250 мм;
- облицовка хранилища.

**5. Перегородка между кинозалом и улицей (рис. 3):**

- акустическая облицовка зала (определяется акустическим проектом);
- 1 слой ГКЛ;
- минераловатные плиты толщиной 100 мм;
- железобетонная плита толщиной 250 мм;
- облицовка фасада.

**6. Окно между кинозалом и улицей:**

- стекло толщиной не менее 4 мм.

**7. Перекрытие между кинозалом и гостиной (рис. 4):**

- кровля (по строительному проекту);
- железобетонная плита толщиной 200 мм;
- минераловатные плиты толщиной 300 мм;
- 3 слоя ГКЛ;
- акустическая облицовка кинозала.

**8. Пол кинозала (рис. 5):**

- чистый пол;
- бетонная плита плавающего пола 60 мм;
- упругая прокладка из пенополиэтилена 40 мм;
- железобетонная плита толщиной 450 мм.
- акустический шов вокруг железобетонной плиты пола кинозала.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Предложенные выше конструктивные решения перегородок обеспечат шумовой комфорт в кинозале и окружающих помещениях.