

* Если теплопроводность теплоизоляционного материала зависит от температуры согласно формуле (4.5a), $\frac{\partial}{\partial x} \left(e^{f(T-T_{10})} \frac{\partial T}{\partial x} \right) = 0$, то для определения $-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{1}{R_i} (T_i - T \Big|_{x=0})$ и $-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=d} = \frac{1}{R_e} (T \Big|_{x=d} - T_e)$. коэффициента теплопроницаемости необходимо решать уравнение и использовать предельные условия. Решение проблемы выражается трансцендентными уравнениями, которые можно решить только численно.

Расчёты показывают, что полученные таким образом величины коэффициента теплопроницаемости в пределах округления не $\pm 0,01 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ отличаются от данных таблицы 4.4.

Литература

1. Standarts LVS EN ISO 6946:2000. Ēku daļas un elementi. Termiskā pretestība un siltuma caurlaidība. Aprēķina metode.
2. Standarts EN 13163. Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmäßig hergestellte produkte aus expandiertem Polystyrol (EPS) – Spezifikation.
3. Technische Information. Styropor. TI 0 – 150 d. 47529 Mai 1992.
4. Standarts prEN 14509. Selbsttragende Sandwich-Dämmelemente mit beidseitiger Metalldeckschicht – Vorgefertigte Produkte – Festlegungen. Juli 2002.
5. Standarts: LVS EN ISO 13788. Hygrothermal performance of buildings components and building elements – Estimation of internal surface temperature to avoid critical surface humidity and assessment of the risk of interstitial condensation.
6. Latvijas būvnormatīvs LBN 002-01 "Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika". Apstiprināts ar Ministru kabineta 2001. g. 27. novembra noteikumiem NR 495.
7. Latvijas būvnormatīvs LBN 003-01 "Būvklimateoloģija". Apstiprināts ar Ministru kabineta 2001. g. 23. augusta noteikumiem NR 376.
8. Standarts: LVS EN ISO 10456. Būvmateriāli un to izstrādājumi. Deklarēto un projektēto termisko lielumu noteikšanas procedūras.

5. Строительная акустика

5.1. Общее описание

Шум – это фактор, неблагоприятно влияющий на человека, снижающий его работоспособность и наносящий вред здоровью. Поэтому одной из акустических задач строительства является не только проектирование акустики различных общественных концертных залов и театров, а также защита человека от повседневного шума и в зданиях другого типа.

В Европейских странах существуют национальные стандарты, нормы которых обеспечивают защиту людей от определённого шума. В Латвии подобный национальный стандарт находится на стадии утверждения. В дальнейшей перспективе в Евросоюзе будут созданы более или менее единые стандарты строительной акустики.

Типы шумов в зданиях можно разделить по виду их возникновения и распространения:

1. Если шум в здании образовался в одном из помещений и распространяется по воздуху через стену в соседнее помещение, то изоляцию распространения данного звука описывают «индексом воздушной изоляции воздуха $R'w$ (измеряют в децибелах dB)». Это является числом, с помощью которого оценивают изоляцию звука внутренних ограждающих конструкций здания, учитывая распространение звука, как через ограждающую конструкцию, так и через расположенные рядом конструкции – побочные пути. В лабораторных условиях, исключая побочные пути, изоляцию звука внутренних ограждающих конструкций здания характеризуют «индексом Rw (dB) воздушной изоляции звука».
2. Если шум образовался в результате удара при столкновении каких-либо тел с ограждающими конструкциями здания (шум удара), то изоляцию подобного шума характеризуют «индексом уровня редуцированного шума удара $L'_{n,w}$ (dB)». Эта величина характеризует изоляцию шума удара в реальных условиях, включая также распространение шума по побочным путям. В лабораторных условиях, исключая побочные пути, получают индекс уровня редуцированного шума удара $L_{n,w}$ (dB).

3. Если шум попадает в здание снаружи через наружные ограждающие конструкции здания, то тогда его характеризуют «индексом воздушной изоляции звука $R'_{fr, s, w}$ (dB), оценивающим изоляцию между помещением и наружной территорией. Упомянутые характеризующие величины ограждающих конструкций существенно зависят от частоты, и эту зависимость можно экспериментально измерить как в конкретном здании, так и в лабораторных условиях (в 1 и 2 случаях).

5.2. Измерение звука

Ухо человека воспринимает звуковое давление в пределах от $2 \cdot 10^{-5}$ – 20 Па. Для характеристики такого широкого диапазона является целесообразным ввести внесистемную единицу измерения децибел (dB) с формулой

$$L = 20 \cdot \lg \frac{p}{p_0} = 10 \cdot \lg \frac{I}{I_0} \quad (5.1)$$

где p – порог слышимости, Па;

p_0 – интенсивность звука, $2 \cdot 10^{-5}$ Па;

I – интенсивность звука нулевого уровня, W/m^2 ; $I_0 = \frac{p_0^2}{\rho}$ W/m^2 ;

I_0 – интенсивность звука нулевого уровня,

ρ – плотность воздуха, $1,2 \text{ кг/м}^3$;

v – скорость распространения звука в воздухе 343 м/с.

При определении величины L соблюдается функция слышимости уха человека (зависимость слуха человека от частоты).

Когда звуковые волны падают на ограждающие конструкции, звук частично отражается и частично поглощается.

Интенсивность поглощенного звука определяет коэффициент поглощения звука

$$\alpha = \frac{I_{abs}}{I_{krit}} \quad (5.2)$$

где I_{abs} – интенсивность поглощенного звука;

I_{krit} – интенсивность падающего на конструкцию звука.

Интенсивность α может меняться в пределах от 0,1 и сильно зависит от частоты. Умножив площадь поверхностей отдельных элементов помещения на коэффициенты поглощения звука их материалов, получим эквивалентную площадь поглощения помещения.

$$A = \sum_i \alpha_i \cdot S_i \quad (5.3)$$

где S_i – площади поверхностей отдельных элементов, m^2 ;

Эквивалентная площадь поглощения равна той воображаемой площади поверхности, которая полностью 100% поглощает звук.

Если в помещении произведён звук, то, выключив его, звук постепенно затихнет. Время, в течение которого уровень звука снизился на 60 dB, называют временем реверберации (T). Между временем реверберации, площадью поглощения и объёмом помещения существует зависимость Сабине

$$T = 0,16 \frac{V}{A} \quad (5.4)$$

При распространении звука через ограждающие конструкции из одного помещения в другое, изоляцию звука характеризуют индексом изоляции звука R_w или R'_w

$$R_w = 10 \cdot \lg \frac{I_1}{I_2} \quad (5.5a)$$

$$R'_w = 10 \cdot \lg \frac{I_1}{I'_2} \quad (5.5b)$$

где I_1 – интенсивность звука, падающего на ограждающие конструкции;
 I_2 – пройденная насквозь через ограждающие конструкции интенсивность без побочных путей (в лабораторных условиях);
 I'_2 – учитывающая побочные пути звука через другие конструкции.

Так как интенсивность звука измерить трудно по сравнению с давлением звука, то для измерения индекса изоляции звука используют измерения уровня звука L . В первом (первичном) помещении устанавливают источник звука, а во втором (вторичном) – приёмник.

Измерив время реверберации вторичного помещения, по формуле Сабине можно определить эквивалентную площадь абсорбции помещения, и потом индексы изоляции звука по формулам

$$R'_w = L_1 - L'_2 + 10 \cdot \lg \frac{S}{A_2} \quad (5.6a)$$

$$R_w = L_1 - L_2 + 10 \cdot \lg \frac{S}{A_2} \quad (5.6b)$$

где L_1, L_2 – средние уровни звука помещений;
 L'_2 – учитывающая побочные пути;
 S – площадь ограждающей поверхности, m^2 .

Так как величины R'_w и R_w зависят от частоты, то для определения среднего индекса используется стандартизированная характерная кривая частоты.

Индекс редуцированного уровня звука удара измеряют также как и индекс изоляции звука. Различие лишь в том, что звук удара создаёт специальный генератор звуков ударов. В данном генераторе имеется пять грузиков (каждый по 500 г), которые один за другим 10 раз в секунду падают на пол с высоты 4 см, создавая звук удара в первичном помещении. Индекс $L'_{n,w}$ определяют по формуле

$$L'_{n,w} = L_2 + 10 \cdot \lg \frac{A_2}{A_0} ; A_0 = 10 \text{ м}^2. \quad (5.7)$$

По аналогии с величиной R'_w для определения средней величины $L'_{n,w}$ используется стандартизированная характерная кривая частоты.

5.3. Абсорбция и звукоизоляция

Абсорбцию звука для различных материалов в практике используют для образования слоя изоляции звука. В создаваемом в Латвии строительном нормативе «Строительная акустика» нормированными величинами звукоизоляции являются индекс звукоизоляции R'_w , редуцированный индекс уровня шума удара $L'_{n,w}$ и минимальный индекс воздушной звукоизоляции $R'_{tr,s,w}$ в зависимости от уровня внешнего шума. Индексы воздушной звукоизоляции должны быть не ниже величин, указанных в таблицах приложения 2 и 3 [2], но редуцированные индексы уровня шума удара не могут превышать указанные в таблицах величины. Приложения 2 и 3 Строительного норматива [2] представлены соответственно таблицами 5.1. и 5.2.

Звукоизоляция для внутренних ограждающих конструкций зданий.

Таблица 5.1.

Н. п/к	Тип зданий и помещений	Требования звукоизоляции	Примечания
1.	2.	3.	4.
	Лечебные учреждения и учреждения по уходу за здоровьем	Индекс изоляции звука в воздухе R'_{w} (dB)	
1.	Между помещениями одной квартиры.	54	Требования относятся ко всем типам жилищных зданий
2.	Между жилыми помещениями квартир и помещениями общего пользования и офисами	54	Помещениями общего пользования являются лестничные площадки, вестибюли, коридоры и используемые чердачные и подвальные помещения.
3.	Между квартирами и помещениями, в которых находятся источники шума максимального уровня. • до 80 dBA • 81 – 90 dBA • 91 – 100 dBA	56 66 76	вентиляционные камеры, машинные помещения, гараж кафе, бары, магазины и т.п. рестораны, спортивные залы и т.п.
4.	Между помещениями одной квартиры.	45	Перекрытия между комнатами в двухкомнатной квартире, перегородки без дверей между комнатами, между кухней и комнатой.
5.	Входные двери или дверная система квартиры: а) открывающиеся прямо на лестничную площадку; б) открывающиеся в прихожую, отделённую стеной от лестничной площадки.	35 27	
		Редуцированный индекс уровня ударного шума $L'_{n,w}$ (dB)	
6.	Между квартирами	54	Требования не распространяются на ванную комнату, помещения туалета, бани и подобные помещения в квартире.
7.	Между балконом, лестницей, коридором, туалетом и квартирой	58	
8.	Между квартирой и помещением с источником шума.	48	В случае необходимости осуществляют дополнительные мероприятия по снижению распространения структурного шума.
9.	Между жилыми помещениями двухэтажной квартиры.	63	
	Жилища кратковременного поселения	Индекс изоляции звука в воздухе R'_{w} (dB)	Жилищами кратковременного поселения являются отели, гостиницы, кемпинги, дома отдыха и поселения туристов.
10.	Между спальнями (номерами)	52	
11.	Между спальными помещениями (номерами) и помещениями общего пользования (лестничные площадки, коридоры, вестибюли, буфет и т.п.)	52	
12.	Между спальными помещениями (номерами) и помещениями, в которых находятся источники шума максимального уровня. • до 80 dBA • 81 – 90 dBA • 91 – 100 dBA	56 66 76	кухни, технические помещения и помещения персонала; кафе, бары, магазины и т.п.; рестораны, спортивные залы и т.п.
13.	Между отдельными комнатами в номерах	44	

14.	Двери или дверные комплексы между спальней (номером) и лестничной площадкой или коридором общего пользования.	32	
		Редуцированный индекс уровня ударного шума $L'_{n,w}$ (dB)	
15.	Из одной спальни в другую (в номере).	57	Требования не распространяются на балкон, ванную комнату и туалет жилого помещения.
16.	Между помещениями общего пользования (лестничные площадки, коридоры, вестибюли, буфет) и спальными помещениями (номерами).	55	
17.	Между помещениями с источником шума (помещениями технического сервиса и обслуживания, ресторана и кухни) и спальными помещениями (номерами)	50	В случае необходимости осуществляют дополнительные мероприятия по снижению структурного шума.
Учреждения социального ухода и реабилитации			
	Для жилых помещений реабилитационных учреждений и пансионатов желательно предъявлять требования изоляции звука квартир. Минимальные требования звукоизоляции выбирают соответственно пунктам 10 – 17 (места кратковременного поселения).		
	Лечебные учреждения и учреждения по уходу за здоровьем	Индекс изоляции звука в воздухе R'_w (dB)	
18.	Между палатами, а также между палатами и им подобными помещениями.	52	
19.	Между палатами, им подобными помещениями и помещениями общего пользования (лестничной клеткой, коридором, вестибюлем, дневным помещением, столовой).	53	Подобными палатам помещениями являются помещения для осмотра и процедур, а также кабинеты врачей
20.	Между операционными помещениями; между операционными и другими помещениями (кроме помещений с издающим шум оборудованием)	55	
21.	Между палатами интенсивной терапии; между палатами интенсивной терапии и коридором.	37	Если в их стенах имеются окна
22.	Между палатами, им подобными помещениями и кухонными помещениями и помещениями технического сервиса и обслуживания	60	
23.	Между специальными помещениями помещениями проверки слуха) и другими помещениями.	62	
24.	Двери, окна или их комплексы: а) между палатами и коридором; б) между помещениями интенсивной терапии и коридором; в) между помещениями проверки слуха и другими помещениями.	32 27 36	
		Редуцированный индекс уровня ударного шума $L'_{n,w}$ (dB)	
25.	Из палат и им подобных помещений в другие помещения	57	К палатам и им подобным помещениям пунктов 25 – 27 причислены также операционные залы
26.	Из помещений общего пользования (лестничной клетки, коридора, вестибюля, дневного помещения) в палаты и им подобные помещения	57	

27.	Из помещения с источником шума (кухни, помещения технического сервиса и обслуживания) в палаты и им подобные помещения		В случае необходимости осуществляют дополнительные мероприятия по снижению структурного шума.
	5. Учебные и научные здания	Индекс изоляции звука в воздухе R'_{w} (dB)	
28.	Между школьными классами; между классами и им подобными помещениями; между упомянутыми помещениями и помещениями общего пользования (лестничными клетками, коридорами, холлами, вестибюлями)	54	Требования пунктов 28 – 37 не относятся на учебные учреждения для детей с нарушением слуха. Классам подобными помещениями являются учебные кабинеты и другие подобные учебные помещения.
29.	Между большими аудиториями (до 100 мест); между большими аудиториями и другими учебными помещениями	57	
30.	Между большими аудиториями и помещениями общего пользования (лестничными клетками, коридорами, холлами, вестибюлями)	55	
31.	Между классами, учебными кабинетами, аудиториями и специальными классами	60	
32.	Между специальными классами и помещениями общего пользования (лестничными клетками, коридорами, холлами, вестибюлями)	57	Специальными классами являются музыкальные классы, мастерские, спортивные залы.
33.	Между классами, учебными кабинетами, аудиториями и кухнями, столовыми	55	
34.	Двери, окна и их комплексы: а) между классами и им подобными помещениями и коридорами; б) между классами и им подобными помещениями (кроме музыкальных классов).	30 32	
35.	Между группами и спальными помещениями в дошкольных учреждениях	50	
36.	Между группами, спальными помещениями и кухней дошкольных учреждений	52	
37.	Между группами, спальными помещениями и музыкальной комнатой или спортивным залом в дошкольных учреждениях	55	
38.	Двери из группы или спального помещения в дошкольных учреждениях в коридор	30	
		Редуцированный индекс уровня ударного шума $L'_{n,w}$ (dB)	
39.	Из класса (учебного кабинета) в другой класс (учебный кабинет).	60	В случае необходимости осуществляют дополнительные мероприятия по снижению структурного шума.
40.	Из помещений общего пользования (лестничных клеток, коридоров, холлов, вестибюлей) в классы (учебные кабинеты)	58	
41.	Из специальных классов в класс (учебный кабинет, аудиторию) или другой специальный класс	50	
42.	Из большой аудитории в учебное помещение или другую аудиторию	48	
43.	Из группы, спального помещения в дошкольных учреждениях в другую группу, спальное помещение	60	
44.	Из помещений общего пользования (лестничных клеток, коридоров, холлов) в группы, спальные помещения, из кухни в группы, спальные помещения в дошкольных учреждениях.	55	

45.	Из музыкальной комнаты, спортивного зала дошкольных учреждений в группы, спальные помещения.	53	
	6. Управленческие здания	Индекс изоляции звука в воздухе R'_{w} (dB)	
46.	Между рабочими помещениями; между рабочими помещениями и лестничными клетками, коридорами, холлами, вестибюлями.	50	
47.	Двери, окна и их комплексы: а) из рабочих помещений в коридоры, лестничные клетки, холлы, вестибюли б) из залов в коридоры, лестничные клетки, холлы, вестибюли	30 36	
48.	Между рабочими помещениями и помещениями, в которых находятся источники шума с максимальным уровнем: • до 80 dBA. • 81 – 90 dBA • 91 – 100 dBA	52 62 72	кухни, технические помещения и помещения персонала; кафе, бары, магазины и т.п.; рестораны, спортивные залы и т.п.
		Редуцированный индекс уровня ударного шума $L'_{n,w}$ (dB)	
49.	Между залами суда, заседаний и коридорами, лестничными площадками, холлами, вестибюлями, рабочими и техническими помещениями.	55	
50.	Из рабочего помещения в рабочее помещение; из помещений общего пользования в рабочее помещение	60	
51.	Из помещений с источником шума (кухни, помещения технического сервиса и обслуживания) в залы	50	
	7. Учреждения культуры и развлечений	Индекс изоляции звука в воздухе R'_{w} (dB)	
52.	Между залами, читальными залами библиотек и фойе, холлами и коридорами	57	
53.	Между залами, читальными залами библиотек и неиспользуемыми чердаками, подвалами и складами	52	
54.	Между залами, читальными залами библиотек и помещениями, в которых находятся источники шума с максимальным уровнем: • до 80 dBA • 81 – 90 dBA • 91 – 100 dBA	60 70 80	Дополнительно осуществляют мероприятия по снижению структурного шума
55.	Между залами, читальными залами библиотек и рабочими помещениями	55	
56.	Между аудиториями и конференц-залами	62	
57.	Между театральными и концертными залами	69	
58.	Между кинозалами	75	
		Редуцированный индекс уровня ударного шума $L'_{n,w}$ (dB)	
59.	Из помещений с источником шума (технические и машинные помещения) в зал	48	
60.	Из фойе, холлов, коридоров и рабочих помещений в залы	53	

61.	Из зала в зал	50	
62.	Из залов в рабочие помещения	63	
8. Спортивные здания			
63.	Между спортивными залами, плавательными бассейнами и фойе, холлами или коридорами	45	
64.	Между спортивными залами, плавательными бассейнами и барами, кафе	48	
65.	Между спортивными залами, плавательными бассейнами и рабочими помещениями	52	
66.	Из спортивных залов, плавательных бассейнов в кафе, бары и рабочие помещения	63	

Выборочные величины индексов изоляции звука $R'_{w}/L'_{n,w}$ (dB) для внутренних ограждающих конструкций зданий.

Таблица 5.2.

Акустические режимы ограждающих помещений Помещение с источником звука:	Степень защиты изолируемого помещения		
	Низкая	Средняя	Высокая
1. Тихое	42/65	47/60	52/55
2. Малошумное	47/60	52/55	57/50
3. Шумное	52/55	57/50	62/45
4. Очень шумное	57/50	62/45	67/45

Величины данного в таблице индекса R'_{w} являются необходимой изоляцией звука между помещениями в вертикальном и горизонтальном направлении.

Индекс $L'_{n,w}$ указывает на необходимую изоляцию шума удара во всех направлениях (по вертикали, горизонтали и диагонали).

Соответствие требованиям изоляции шума удара определяют для помещений с площадью поверхности пола не меньше 2,5 м².

В литературе [1] описаны 4 типа ограждающих конструкций, с помощью которых можно достичь необходимую изоляцию звука. Четвёртый из этих типов соответствует панелям, в которых теплоизоляционный материал (одновременно и материал, изолирующий звук) с двух сторон покрытый лёгкими оболочками – листами гипсокартона или металла. Индекс изоляции звука R_w подобных конструкций с наполнителем из минеральной ваты может превышать 50 dB, с пенополистирольным наполнителем может достичь 40 dB, если толщина изоляционного слоя > 100 мм. Похожие экспериментальные замеры для образцов с наполнителем из стекловаты показаны в литературе [3].

Литература

1. I. Veits. Aizsardzība pret skaņu pārnei ēkās un attiecīgie starptautiskie standarti.- Zinātniski praktiskais seminārs: „Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnikā”.- Rīga, 16 – 17. 03. 2000. 18-1 līdz 18 – 13 lpp.
2. Latvijas būvnormatīvs LBN 016 – 03 „Būvakustika” (Projekts).
3. Skaņas izolācija un absorbcija. Isover Latvia. 2003. 11 lpp.