

2004

608-4  
7-415

БИБЛИОТЕКА СТРОИТЕЛЯ

Серия «Инженеру-проектировщику»

Л. П. ТИМОФЕЕНКО

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ЗДАНИЙ

-115973-

-115973-

Научно-техническая библиотека  
Северодонецкого государственного университета  
«Объединения АЗС»

КИЕВ «БУДІВЕЛЬНИК» 1978

6С6.3.  
Т41

УДК 699.844

**Повышение эффективности звукоизоляции зданий.**  
Тимофеев Л. П. Киев, «Будівельник», 1978,  
с. 88.

В книге приведены основные положения по звукоизоляции жилых и общественных зданий, описаны источники шума и пути его распространения в зданиях. Приводятся данные о звукоизолирующей способности ограждающих конструкций зданий, а также практические конструктивные мероприятия по повышению их звукоизолирующей способности. Описаны способы снижения шума инженерно-технического оборудования и архитектурно-планировочные мероприятия по защите зданий от шума.

Нормативные материалы приведены по состоянию на 1 декабря 1977 г.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников строительных и проектных организаций, архитекторов, может быть полезна студентам строительных и архитектурных вузов.

Ил. 46. Табл. 10. Список лит.: с. 85—86.

Рецензент *В. П. Шевченко*

Редакция литературы по архитектуре

Т  $\frac{30201-023}{M203(04)-78}$  109—78

© Издательство «Будівельник», 1978

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Грандиозные масштабы жилищного и гражданского строительства в нашей стране, техническое совершенствование строительного производства и значительное расширение объема строительства вызвало необходимость разработки и внедрения новых, эффективных и экономически выгодных форм строительства и строительных конструкций, позволяющих осуществить резкое сокращение сроков строительства зданий, повышение их технико-экономических показателей. Улучшение эксплуатационных показателей возводимых зданий, в частности, звукоизоляционных свойств, является одной из важных задач строительства в десятилетке.

За последние годы разработаны новые технические решения многоэтажных зданий, в том числе объемно-блочные дома из тонкостенных железобетонных элементов, что позволило не только улучшить технико-экономические показатели зданий путем снижения их веса, материалоемкости, более полного использования прочностных свойств материала, но и повысить эксплуатационные качества. Повышается звукоизоляция зданий, возводимых по новым, улучшенным проектам.

В нашей стране принят ряд постановлений, направленных на улучшение акустического режима не только на промышленных предприятиях, но и в городах и других населенных пунктах (Постановление Совета Министров СССР от 3. X. 1973 г. № 726). Такие нормативные документы в области строительства, как, например, СНиП II-Л. 1—71 «Жилые здания. Нормы проектирования», СНиП II-Л. 2—72 «Общественные здания и сооружения. Нормы проектирования. Общая часть» регламентируют звукоизолирующую способность ограждающих конструкций и допустимые уровни шума, проникающего в жилые помещения, «Санитарные нормы допустимого шума в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки» (№ 872—70) излагают основные требования по вопросам защиты помещений от шума, проникающего снаружи и возникающего внутри здания.

Выполнение указанных норм по обеспечению акустического режима в жилых и гражданских зданиях требует от строителей квалифицированного решения ряда сложных строительно-акустических задач с учетом современных достижений в области звукоизоляции.

Экспериментальные исследования показывают, что звукоизоляционные свойства современных зданий не всегда в полной мере соответствуют нормативным требованиям по звукоизоляции. Ухудшение акустического режима в помещениях современных зданий вызвано не только недостаточной звукоизолирующей способностью ограждающих конструкций, но и значительным увеличением мощности и количества источников шума, которыми насыщены здания. Поэтому, как показывают исследования, даже при удовлетворительной нормативной звукоизоляции ограждений акустический комфорт в помещениях не всегда обеспечивается.

В настоящее время в связи с введением повышенных нормативных требований по звукоизоляции (СНиП II-Л. 1—71) особое значение приобретают вопросы качества строительно-монтажных работ, поскольку низкое качество работ приводит к существенному снижению звукоизоляции любого ограждения, несмотря на все акустические эффективные меры, предусмотренные проектом.

Пути повышения эффективности звукоизоляции зданий связаны с целым комплексом активных и пассивных мероприятий. Эффективным является активное снижение уровня шума источников, находящихся как внутри здания, так и вне его. Наиболее распространены в строительстве пассивные мероприятия, предусматривающие различные приемы строительно-акустического и архитектурно-планировочного характера. Они, в частности, включают конструктивные меры по повышению звукоизоляции ограждений, оптимальному архитектурно-планировочному размещению как зданий, так и помещений в них, применение глушителей, звукопоглощающих конструкций, облицовок, виброизоляции, экранов и т. д.

## **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ЗДАНИЙ**

### **Источники шума и вибраций в жилых и общественных зданиях**

Обеспечение необходимого акустического комфорта в помещениях зданий связано с изоляцией их как от внешних, так и от внутренних шумов.

Источники шума в современных зданиях весьма многочисленны и многообразны. Насыщенность зданий инженерно-техническим оборудованием (лифтами, мусоропроводами, вентиляторами, насосами подкачки воды, различными санитарными приборами и устройствами) способствует возникновению звуковых колебаний и вибраций, которые распространяются на значительные расстояния. Весьма интенсивны источники шума бытового происхождения: радио, телевизоры, магнитофоны, громкая речь и т. д.

Наиболее эффективной мерой по улучшению акустического комфорта зданий является снижение интенсивности источников шума.

В условиях современного города невозможно устранить все источники внешнего шума, действующего на здание (шум транспорта, самолетов, промышленных предприятий, спортивных площадок), а также источники шума внутри здания. Необходимый акустический комфорт может быть достигнут лишь комплексом мер, которые включают административно-законодательные акты, градостроительные средства, архитектурно-планировочные меры, строительно-конструктивные и технические мероприятия.

Возникающие в зданиях шумы распространяются в виде воздушных или упругих волн.

При распространении звуковых волн в системе здания происходит затухание энергии волн, связанное с пространственным распространением и затуханием в материале конструкций. Процесс распространения звуковых вибраций является результатом наложения различных видов волн, возникающих в конструкциях зданий — продольных, поперечных и изгибных. Для практических целей звукоизоляции наибольшее значение имеют волны изгиба, возникающие в ограждающих конструкциях под действием различных возмущений. Продольные волны могут при прохождении стыков, сопряжений конструктивных элементов трансформироваться в другие виды волн — поперечные, которые переносят основную часть энергии структурного, т. е. распространяющегося по конструкциям здания шума [1].

Кроме указанных, в зданиях возможно образование различных видов крутильных и поверхностных волн, однако они быстро затухают с увеличением расстояния от источника шума и не оказывают существенного влияния на формирование шумового режима здания. Поэтому при исследовании вопросов звукоизоляции они обычно не учитываются.

Интенсивность звука измеряется в Вт/м<sup>2</sup>. В практике защиты зданий от шума интенсивность звука изменяется в очень широких пределах, поэтому удобнее пользоваться логарифмической величиной — уровнем интенсивности звука, выраженным в децибелах (дБ):

$$L_n = 10 \lg \frac{I}{I_0},$$

где  $I$  — интенсивность звука;

$I_0$  — пороговая интенсивность, равная 10<sup>-12</sup> Вт/м<sup>2</sup>.

Более распространенной величиной измерения шума является уровень звукового давления, который определяется выражением

$$L = 10 \lg \frac{P^2}{P_0^2},$$

где  $P$  — звуковое давление, Н/м<sup>2</sup>,

$P_0$  — пороговая величина звукового давления, равная 2·10<sup>-5</sup> Н/м<sup>2</sup>.

В плоской звуковой волне свободного звукового поля давление и интенсивность численно совпадают.

Как правило, источники шума в зданиях характеризуются непериодичностью действия. Время воздействия шума может колебаться в широких пределах. При этом в изолируемое помещение могут проникать шумы, генерируемые двумя или более источниками. В этом случае суммарный уровень шума определяется по правилам энергетического суммирования. Если источники шума имеют одинаковые уровни шума, то определение суммарного уровня шума может быть произведено по формуле

$$L = L_i + 10 \lg n,$$

где  $L_i$  — уровень шума  $i$ -го источника;

$n$  — количество источников.

Если действует одновременно несколько различных источников шума  $L_1$  и  $L_2$ , то их уровни суммируются последовательно ( $L_1 > L_2$ ):

$$L = L_1 + \Delta L,$$

где  $\Delta L$  — поправка, зависящая от разности уровней двух источников.

Поправка для энергетического суммирования уровней шума:

Разность уровней шума двух источников, дБ	0	1	2	3	4	5	6	10	15
Поправка, добавляемая к большему уровню шума, дБ	3	2,5	2,1	1,8	1,5	1,2	1	0,4	0,2

Таблица 1. Показатели уровня звукового давления некоторых источников шума

Субъективная оценка	Источник шума	Уровень звукового давления, дБ	Примечание
Очень тихо	Порог слышимости	0—10	В зависимости от физиологического восприятия уха На расстоянии 5—10 м
	Шелест листвы и тихого ветра	10—20	
	Шепот тихий	20—30	То же, 0,5 м » 1
	Шепот	30—40	
Тихо	Очень тихая музыка по радио	40—50	На расстоянии 5 м
	Жилая комната в пригороде	50—60	—
	Речь средней громкости	50—60	На расстоянии 1—1,5 м
Шумно	Громкая разговорная речь	60—70	На расстоянии 1—2 м
	Шум на улице со средней интенсивностью движения, шум насосных установок, лифтов	70—80	—
Очень шумно	Громкая музыка (телевизоры, проигрыватели, радио), шум пылесоса, кондиционеры, вентиляторы	80—90	В помещении
	Болезненно	Громкая оркестровая музыка	100—110
Шум дизельных моторов		110—115	На расстоянии 1 м То же, 2—3
Авиационные двигатели		120—130	
	Порог болевого ощущения	130—140	—

Как видно из приведенных данных, практически при разности уровней более 10 дБ источником шума с меньшим уровнем можно пренебрегать. При действии многих источников шума производится последовательное попарное энергетическое суммирование.

**Пример.** В помещение проникает через окно шум автомобильного транспорта  $L_1=80$  дБ, насосной установки  $L_2=78$  дБ и лифта  $L_3=74$  дБ. Требуется определить суммарный уровень шума в расчетной точке помещения.

Определяем значение  $L_1 - L_2 = 2$  дБ и находим поправку  $\Delta L_1 = 2,1$  дБ;  $L_2 = 80 + 2,1 = 82,1$  дБ. Находим разность  $L_2$  и  $L_3$ :  $82,1 - 74 = 8,1$  дБ. Поправку  $\Delta L_2$  находим экстраполяцией  $\Delta L_2 = 0,5$  дБ. Суммарный уровень шума в расчетной точке помещения будет  $L = 82,1 + 0,5 = 82,6$  дБ.

Таким образом, для снижения уровня шума в помещении необходимо уменьшить уровень шума  $L_1$ , например, путем увеличения собственной звукоизоляции окна.

Спектры шума, выраженные в уровнях звукового давления, изображаются в виде частотных характеристик в полулогарифмических координатах: по оси ординат в линейном масштабе откладываются уровни, а по оси абсцисс в логарифмическом масштабе — частоты.

На практике чаще всего используют понятие уровень звука в дБА. Это значит, что измерения уровня звукового давления производились по кривой коррекции А шумомера (шумомер может быть снабжен набором корректирующих фильтров, характеристики которых обозначаются буквами А, В, С, Д). Характеристика с индексом А учитывает восприятие шума человеческим ухом и рекомендуется международными стандартами по оценке уровня шума. В табл. 1 приведены уровни звукового давления некоторых источников шума.

Спектры шумов инженерно-технического оборудования зданий (вентиляторы, насосы, трубопроводы, мусоропроводы, лифты, канализация и т. д.) носят, как правило, сплошной характер, а уровни звукового давления колеблются в широких пределах. Звуковая мощность, излучаемая этими источниками шума, на различных частотах будет иметь различный уровень, поэтому кроме частотного спектра излучения необходимо знать и паспортные шумовые характеристики источников шума. Практически задача значительно усложняется не только тем, что не всегда шумные агрегаты и машины имеют шумовые характеристики, но и тем, что эти источники являются и возбудителями звуковых вибраций, распространяющихся по конструкциям зданий. В этом случае для обеспечения нормативного акустического режима здания первостепенное значение имеют меры по виброизоляции источников шума и уменьшению излучения звуковой энергии колеблющимися конструкциями (вибродемпфирование, устройство обшивок на отnose, акустических разрывов, плавающих полов и т. д.).

#### Нормативные требования по звукоизоляции зданий и методы ее измерения

Правильный расчет и выбор конструктивных мер по обеспечению благоприятного акустического режима в помещениях и необходимой звукоизоляции ограждающих конструкций тесно связаны с нормативными требованиями по звукоизоляции, которые предъявляются к тем или иным помещениям различных зданий. Требования по звукоизоляции зданий зависят от назначения здания и функциональных особенностей его помещений. Нормативные документы, регламентирующие величину звукоизоляции ограждающих конструкций, изложены в соответствующих главах СНиП: для жилых зданий — СНиП II-Л. 1—71, для общественных — СНиП II-Л. 2—72.

Мерой оценки звукоизоляции от воздушного или ударного шу-

ма ограждающей конструкции здания служит показатель звукоизоляции от воздушного ( $E_v$ ) или ударного ( $E_y$ ) шума. Оценка изоляции от ударного шума производится только для междуэтажных перекрытий, а от воздушного шума — для стен, перегородок, перекрытий, дверей и т. д.

Показатель звукоизоляции ограждающей конструкции равен целому числу децибел, на которое нужно сместить по вертикали нормативную кривую для того, чтобы среднее неблагоприятное отклонение частотной характеристики звукоизоляции от воздушного шума этого ограждения или приведенного уровня ударного шума под перекрытием от смещенной нормативной кривой во всех  $1/3$ -октавных полосах нормируемого диапазона частот (100—3200 Гц) не превышало 2 дБ и было максимально близко к этому значению.

При определении показателей звукоизоляции рассчитывается среднее неблагоприятное отклонение расчетной или измеренной частотной характеристики звукоизоляции от нормативной, которое принимается равным  $\frac{1}{15}$  суммы всех неблагоприятных отклонений на каждой из 16 среднегеометрических частот: 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 640, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500 и 3200 Гц [2].

**Пример.** Рассчитать показатель звукоизоляции от воздушного шума междуэтажного перекрытия в натуральных условиях, частотная характеристика звукоизолирующей способности которого приведена на рис. 1.

В полулогарифмическом масштабе строим оси координат и наносим нормативные кривые. Определяем среднее неблагоприятное отклонение путем нахождения суммы неблагоприятных отклонений и деления ее на 15 (число  $\frac{1}{3}$  октавных полос).

Сдвигаем нормативную кривую вниз на величину среднего неблагоприятного отклонения, округленную до целого числа децибел. Затем снова определяем среднее неблагоприятное отклонение от сдвинутой кривой. Расчет показателей звукоизоляции сведен в табл. 2.

Согласно требованиям современных норм нормируемыми параметрами шума, проникшего в помещения жилых и общественных зданий, являются уровни среднеквадратического звукового давления в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц. Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот и

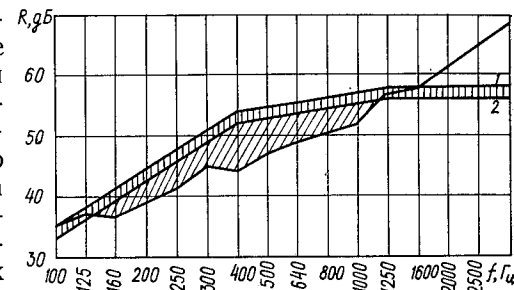


Рис. 1. Расчет показателя звукоизоляции от воздушного шума:

1 — для лабораторных исследований; 2 — при измерении в натуре и расчетах.

Таблица 2. Определение показателя звукоизоляции от воздушного шума

Частоты, Гц	Величина звукоизоляции, дБ		Отклонения измеренных значений от нормативных, дБ	Значения нормативной кривой, сдвинутой вниз на 1 дБ	Неблагоприятные отклонения после сдвига нормативной кривой, дБ
	нормативная	измеренная или расчетная			
100	33	35	+2	32	+3
125	36	37	+1	35	+2
160	39	36	-3	38	-2
200	42	39	-3	41	-2
250	45	41	-4	44	-3
320	48	45	-3	47	-2
400	51	44	-7	50	-6
500	52	47	-5	51	-4
640	53	49	-4	52	-3
800	54	50	-4	53	-3
1000	55	52	-3	54	-2
1250	56	57	+1	55	+2
1600	56	58	+2	55	+3
2000	56	61	+5	55	+6
2500	56	66	+10	55	+11
3200	56	68	+12	55	+13

Сумма неблагоприятных отклонений

-36

-

-27

Среднее неблагоприятное отклонение

$36 : 15 = 2,4 > 2$  дБ

$27 : 15 = 1,8 < 2$  дБ

Показатель звукоизоляции  $E_v = -1$  дБ

уровни звука в помещениях жилых и общественных зданий от работы систем санитарно-технического и инженерного оборудования, а также внешних шумов приведены в табл. 3.

В зависимости от характера шума, места расположения объекта, времени действия шума в измеренные или рассчитанные уровни звукового давления вносятся поправки, приведенные в табл. 4.

Уточненные уровни шума сравниваются с предельно допустимыми уровнями звукового давления, указанными в табл. 3.

Широко распространен графический метод сравнения измеренных или расчетных уровней звукового давления с предельно допустимым индексом кривой для оценки шума. На рис. 2 приведены предельно допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот. Индекс кривых соответствует предельно допустимому звуковому давлению в октавной полосе со средней частотой 1000 Гц. Например, индекс кривой № 50 обозначает кривую для оценки шума с уровнем звукового давления 50 дБ в октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц.

Нормативные документы по нормированию звукоизоляции ограждающих конструкций и допустимого шума в помещениях различного назначения приведены в [2—4].

Измерения звукоизоляции ограждающих конструкций зда-

Таблица 3. Допустимые уровни звукового давления и уровни звука в помещениях жилых и общественных зданий [СНиП II-Л. 1—71, СНиП II-Л. 2—72]

Помещения	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								Уровень звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	Уровни звукового давления, дБ								
Жилые комнаты квартир, спальные помещения детских учреждений и интернатов, жилые помещения домов отдыха и пансионатов	55	44	35	29	25	22	20	18	30
Палаты больниц и санаториев, операционные больницы	51	39	31	24	20	17	14	13	25
Кабинеты врачей больниц, санаториев и поликлиник, концертные залы, номера гостиниц, жилые комнаты в общежитиях	59	48	40	34	30	27	25	23	35
Классы и аудитории в школах и учебных заведениях, конференц-залы, зрительные залы театров, кинотеатров, клубов, читальные залы	63	52	45	39	35	32	30	28	40
Рабочие помещения административных зданий, конструкторских бюро, научно-исследовательских институтов	71	61	54	49	45	42	40	38	50
Залы кафе и ресторанов, столовые, фойе театров и кинотеатров	75	66	59	54	50	47	45	43	55
Торговые залы магазинов, спортзалы, пассажирские залы аэропортов и вокзалов, парикмахерские и т. п.	79	70	63	58	55	52	50	49	60
Помещения лабораторий, кабины наблюдения; помещения для электронно-вычислительных машин.	94	87	82	78	75	73	71	70	80

ний проводятся в лабораторных и натуральных условиях по стандартной методике, разработанной на основе рекомендаций Международной организации по стандартизации (ИСО) и Постоянной комиссии по строительству СЭВ. Эта методика изложена в требованиях ГОСТ 15116—69 «Звукоизоляция. Показатель звукоизоляции. Методы измерения» и предусматривает определение показателя звукоизоляции перекрытий, стен, перегородок от воздушного шума и, кроме того, перекрытий от ударного шума.

Величина звукоизоляции от воздушного шума  $R$  вычисляется по формуле

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{S}{A},$$

где  $L_1$  и  $L_2$  — средние уровни звукового давления в камерах высокого (КВУ) и низкого (КНУ) уровней, дБ;

Таблица 4. Поправки к допустимым октавным уровням звукового давления и уровням звука [СНиП II-Л. I—72]

Фактор, определяющий поправку	Условия эксплуатации	Поправка, дБ или дБА
Характер шума	Широкополосный	0
	Тональный, импульсный (при измерении стандартным шумомером)	-5
Месторасположение здания	Курортный район	-5
	Новый проектируемый городской жилой район	0
	Новые здания в существующей застройке	+5
Время суток	с 7 до 23 ч	+10
	с 23 до 7 ч	0
Длительность воздействия шума в дневное время за наиболее шумные 30 мин	Суммарная длительность, проц.:	
	56—100	0
	18—56	+5
	6—18	+10
	Менее 6	+15

$S$  — площадь испытываемой конструкции,  $m^2$ ;

$A$  — общее звукопоглощение в камере низкого уровня,  $m^2$ .

Определение приведенного уровня ударного шума под перекрытием в октавных полосах  $L_n$  в дБ производят по формуле

$$L_n = L_y - 10 \lg \frac{A_0}{A},$$

где  $L_y$  — уровень ударного шума относительно порогового значения  $2 \cdot 10^{-5} \text{ Н/м}^2$ ;

$A_0$  — стандартное звукопоглощение ( $10 \text{ м}^2$ ).

В случае, если при измерении применялись  $\frac{1}{3}$ -октавные фильтры, то результаты измерения ударного шума нужно привести к октавным полосам путем прибавления к значению  $L_n$  4,8 дБ.

В качестве источников воздушного шума используются громкоговорители, размещаемые в углах камеры высокого уровня, противоположных поверхности испытываемой конструкции. В качестве источника ударного шума применяется ударная машина следующей конструкции: 4 молотка расположены на одной прямой, расстояние между крайними молотками равно 40 см, эффективная масса каждого молотка составляет 0,5 кг. Молотки свободно падают с высоты 4 см без трения. Часть молотка, ударяющая по поверхности испытываемого образца, выполняется из металла диаметром 3 см с радиусом соприкасающейся поверхности около

50 см. Схема измерения звукоизоляции приведена на рис. 3. Измерения должны выполняться шумомером с полосовыми фильтрами или же измерительным трактом, состоящим из микрофона, усилителя, полосовых фильтров, самописца уровней или лампового вольтметра. Частотная характеристика шумомера или измерительного тракта (включая микрофон) в диапазоне

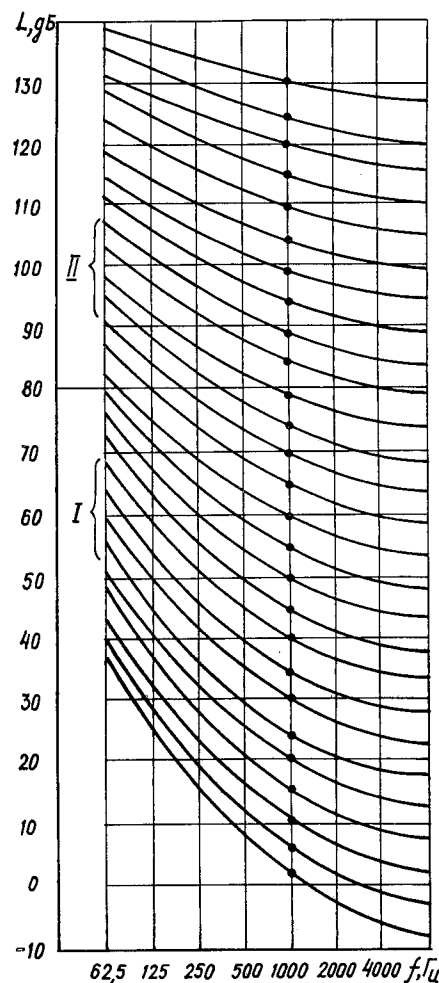
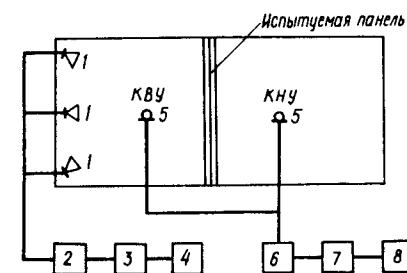


Рис. 2. Предельные спектры шума для различных помещений:

I — жилые здания; II — обычные производственные шумы.

Рис. 3. Блок-схема электроакустического тракта для измерения звукоизоляции от воздушного шума:

1 — громкоговорители; 2 — усилитель мощности; 3 — октавный фильтр; 4 — генератор «белого» шума; 5 — микрофоны; 6 — катодный повторитель; 7 — 1/3-октавный спектрометр; 8 — быстродействующий регистратор уровней.



частот измерения должна быть линейной. Испытуемая конструкция устанавливается между КВУ и КНУ. В КВУ передающим трактом возбуждается шум в октавных полосах частот в диапазоне 100—3200 Гц, одновременно в КВУ и КНУ приемным трактом регистрируются уровни звукового давления  $L_1$  и  $L_2$ .



Общее звукопоглощение в КНУ обычно определяется по результатам измерения времени реверберации или рассчитывается исходя из площадей ограждающих конструкций  $S_i$  и их коэффициента звукопоглощения  $\alpha_i$ :

$$A = \sum \alpha_i S_i.$$

При измерении времени реверберации величина общего звукопоглощения определяется по формуле

$$A = 0,164 \frac{V}{T},$$

где  $V$  — объем КНУ, м<sup>3</sup>;

$T$  — измеренное время реверберации, сек.

Под реверберацией понимается процесс затухания звуковой энергии, наблюдаемый после прекращения звучания источника шума. Учитывая, что при измерениях звукоизоляции обычно измеряется уровень звукового давления, временем стандартной реверберации считается время, в течение которого уровень звукового давления стандартного «белого» шума снизится на 60 дБ.

При проведении измерений в натуральных условиях на результаты измерений влияют различные шумовые помехи (это влияние следует учитывать в диапазоне частот измерений). Если уровень звукового давления, содержащий сигнал и шумовые помехи, превышает уровень помех в частотной полосе менее чем на 10 дБ, то для учета помех необходимо из уровня звукового давления вычесть поправку.

Если разность между измеренным уровнем и уровнем помех в полосе составляет от 9 до 6 дБ, поправку следует брать в 1 дБ, от 5 до 4—2. Если разность меньше 4 дБ, проведение измерений звукоизоляции не допускается.

Существуют также другие методы измерения звукоизоляции конструкций, но в отличие от вышеописанного они являются более помехоустойчивыми. Стандартный метод не позволяет производить оценку звукоизоляции с учетом косвенных путей передачи звуковой энергии, он весьма чувствителен к посторонним шумам и требует больших специальных акустических камер с высокой степенью изоляции.

В последнее время все большее применение находит корреляционный метод измерения звукоизоляции панелей [4]. Суть его состоит в определении с помощью специальных приборов — коррелометров — компонентов звукового давления, соответствующих различным источникам шума, различным временам распространения и различным полосам частот.

Этот метод предпочтителен при измерении в натуральных условиях звукоизоляции окон, дверей, перегородок, вентиляционных проемов и т. п. Преимуществом корреляционного метода является его примерно одинаковая точность измерения звукоизоляции как в натуральных, так и лабораторных условиях, недостатком — слож-

ность применяемой аппаратуры и необходимость специальной подготовки персонала.

Для контрольных замеров звукоизоляции существует более простой метод, предусматривающий установку по обе стороны испытуемой панели излучающей и приемной переносных камер. Камеры устанавливаются симметрично относительно друг друга и по показаниям индикатора, подключенного к микрофонам в приемной и излучающей камерах, определяют звукоизолирующую способность локальных участков ограждения. Устанавливаемая на поверхности исследуемой конструкции излучающая камера с громкоговорителем должна быть тщательно загерметизирована. На регистрирующее приспособление, устанавливаемое на противоположной поверхности конструкции, могут оказывать существенное влияние помехи; диапазон измерительных частот иногда охватывает сравнительно узкую область.

Автором предложено новое устройство для измерения звукоизоляции конструкций (рис. 4). Устройство содержит излучающую камеру с динамиками, регистрирующее приспособление с вибродатчиками, интегрирующую корректирующую цепочку. Регистрирующее приспособление состоит из закрепляемых жестко непосредственно на конструкции вибродатчиков, подключенных ко входу интегрирующей цепочки, выход которой соединен с индикатором.

Акустическая энергия, генерируемая динамиком в широком диапазоне частот, возбуждает изгибные колебания в исследуемой конструкции, наружные поверхности которой колеблется синфазно. Вибродатчики регистрируют колебания поверхности конструкции, и после усреднения и интегрирования по измерительной площади сигнал проходит на индикатор.

Данный метод может найти преимущественное применение при экспресс-измерениях в условиях строительной площадки акустически однородных конструкций. Преимуществами его являются простота и высокая помехоустойчивость, что важно при проведении поверочных замеров звукоизоляции органами архитектурно-строительного контроля.

В последние годы в нашей стране и за рубежом широко используется метод измерения звукоизоляции конструкций на

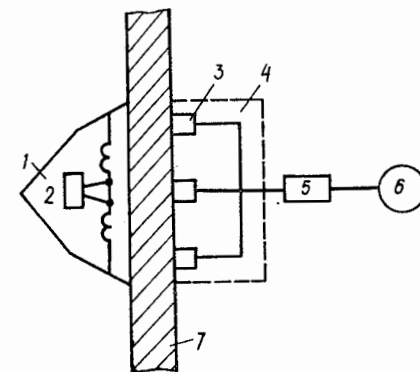


Рис. 4. Устройство для измерения звукоизоляции вибрационным методом: 1 — излучающая камера; 2 — динамик; 3 — вибродатчики; 4 — регистрирующее приспособление; 5 — корректирующая цепочка; 6 — индикатор; 7 — испытуемая конструкция.



моделях, который значительно ускоряет и удешевляет трудоемкий процесс исследования [4—6]. Пользуясь методом моделирования, можно исследовать влияние отдельных конструктивных и физических факторов на звукоизоляцию конструкций. Масштаб моделирования, исходя из требований геометрического подобия модели и натурной конструкции, обычно выбирают 1:5 или 1:3.

Выбирая масштаб моделирования, следует учитывать, что дифференциальные или интегральные уравнения, описывающие исследуемые явления (совместно с граничными и начальными условиями), после приведения их к помощи масштабных преобразований к безразмерному виду должны быть тождественно равны. Необходимое увеличение частоты в 5 раз легко обеспечивается существующей высококачественной излучательной аппаратурой, т. к. измерения проводятся в диапазоне 500—12 500 Гц.

В настоящее время существует несколько измерительных установок для модельных исследований звукоизоляции ограждений. Одна из них [7] содержит подвижную камеру КНУ, пневматически соединенную с камерой высокого уровня, в которой размещены высокочастотные излучатели. В проеме между камерами устанавливается испытываемая панель. Условия закрепления панели легко фиксируются, а косвенные пути максимально устранены вследствие разобщенности камер, в которых звуковое поле приближается к диффузному.

#### Передача воздушного шума через ограждения

В современном строительстве жилых и общественных зданий широкое распространение находят тонкостенные ограждающие конструкции из различных материалов. Эти конструкции должны обеспечивать необходимый акустический комфорт в помещениях. При этом конечной целью является необходимость с помощью повышения звукоизолирующей способности разделяющего ограждения снизить уровень звукового давления в изолируемом помещении.

Эффект звукоизоляции в сочетании со звукопоглощением позволяет наиболее полно решить проблему обеспечения благоприятного акустического режима в помещениях. Этот эффект связан, в первую очередь, с отражением звука от поверхности конструкции.

Звукоизолирующая способность ограждения характеризуется коэффициентом звукопроницаемости, который определяется по формуле

$$\tau = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{P_1^2}{P_2^2},$$

где  $Q_1$  и  $Q_2$  — величины звуковой энергии, прошедшей через ограждение и падающей на него;

$P_1$  и  $P_2$  — звуковое давление в прошедшей через ограждение и падающей на него звуковой волне.

Выражение  $R = 10 \lg \frac{1}{\tau}$  определяет величину звукоизоляции ограждения от воздушного шума в дБ.

Практически для звукоизоляции строительных конструкций имеют значение две области частот: область действия закона массы и область, где проявляется эффект волнового совпадения.

Учет граничных условий, размеров, неоднородностей, параметров примыкающих конструкций и т. п. значительно усложняет расчет звукоизоляции однослойного ограждения. Важными являются акустические характеристики изолируемых помещений — при одинаковых конструкциях ограждений в гулком помещении проникающий через ограждение шум создает большие уровни звукового давления, чем в заглушенном помещении.

Для повышения звукоизоляции следует передвигать граничную частоту волнового совпадения за пределы нормируемых частот. Для тонких жестких перегородок с поверхностной плотностью 20—150 кг/м<sup>2</sup> значение граничной частоты находится в пределах от 250 до 1000 Гц, т. е. в диапазоне частот, наиболее воспринимаемых человеком. Поэтому путем уменьшения жесткости можно существенно повысить их низкую звукоизолирующую способность (благодаря смещению граничной частоты в сторону высоких частот). В случае использования панелей относительно большой толщины с  $f_{гр} < 250$  Гц целесообразно увеличивать их жесткость. Этот эффект может быть достигнут либо путем уменьшения гибкости панели при постоянной массе, либо увеличением массы при постоянной гибкости. Надежную звукоизоляцию от воздушного шума обеспечивают толстые и тяжелые ограждения, выполненные из плотных материалов с высоким коэффициентом потерь, однородные по структуре ограждения без щелей и пустот.

Применение массивных ограждений с целью увеличения звукоизоляции не всегда оправдано с технико-экономической точки зрения. Более перспективным представляется использование материалов с высоким коэффициентом потерь.

При необходимости обеспечить высокую звукоизоляцию при значительно меньшей поверхностной массе ограждения, что в условиях современного строительства является наиболее целесообразным, широко используют многослойные конструкции ограждений. Они позволяют при значительно меньшей поверхностной плотности обеспечить такую же звукоизоляцию, как и однослойные ограждения.

Звукоизоляция двойного ограждения от воздушного шума зависит от массы стенок, соотношения их жесткостей, граничных частот волнового совпадения каждой стенки, резонансных явлений в воздушном промежутке, условий сопряжения стенок между собой и т. д.

Как показывают экспериментальные исследования, практически в зданиях вследствие наличия косвенных путей передачи звуковой энергии, а также жесткой связи стен двойного ограждения между собой, толщина воздушного промежутка может приниматься исходя из конструктивных соображений равной 4—6 см.

Средняя звукоизолирующая способность двойного ограждения с воздушным промежуточным слоем приближенно может быть определена следующим образом:

при весе двух стенок меньше 200 кг/м<sup>2</sup>

$$R = 13,5 \lg(m_1 + m_2) + 13 + \Delta, \text{ дБ};$$

при весе  $m_1 + m_2$  более 200 кг/м<sup>2</sup>

$$R = 23 \lg(m_1 + m_2) - 9 + \Delta, \text{ дБ},$$

где  $\Delta$  — поправка, зависящая от ширины воздушного промежутка.

Поправка на звукоизоляцию двойного ограждения:

Толщина воздушного промежутка, см	3	4	5	6	7	8	9	10
Поправка, дБ	2	3	4,5	5,5	6	6,5	6,8	7

Для увеличения звукоизоляции двойных ограждений в последнее время широко используют заполнение промежутка между наружными стенками упруго-вязкими материалами (панели типа «сэндвич»), что позволяет повысить модуль потерь конструкции  $\eta_E$  и тем самым расширить область действия закона массы.

При относительно высоких потерях в упруго-вязком слое такое ограждение в области высоких частот способно к колебаниям сдвига, а не изгиба, в результате чего явление волнового совпадения практически не наблюдается и звукоизоляция ограждения повышается. Гораздо меньший эффект наблюдается при внесении в промежуток между двумя стенками пористых или волокнистых материалов.

Рассматривая звукоизоляцию многослойных ограждений, нельзя не отметить отрицательного влияния жесткой связи между стенками. Особенно значительно снижение звукоизоляции на частотах, выше граничных. На частотах, ниже граничных, влияние жесткой связи менее значительно, поскольку на этих частотах панели представляют собой систему не связанных при колебании масс.

Важным мероприятием является также рассогласование граничных частот стенок двойного ограждения, чего можно достичь, например, устройством в одной из стенок пазов или выступов. Целесообразно также применение при изготовлении стенок материалов с различными объемными весами: повышение звукоизоляции от воздушного шума при этом может составить 5—10 дБ. Соотношение цилиндрических жесткостей при изгибе стенок должно быть от 1:5 до 1:8 (при одинаковом весе стенок).

Наибольшая величина дополнительной звукоизоляции такого ограждения будет [4]

$$\Delta R_{\text{доп}} = 20 \lg \frac{1}{\eta} - 3.$$

Самыми выгодными с точки зрения звукоизоляции являются двойные ограждения из панелей одинаковой поверхностной плотности, но с различными цилиндрическими жесткостями при изгибе.

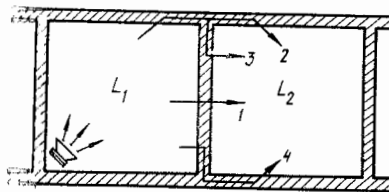


Рис. 5. Косвенные пути распространения звуковой энергии:  
1 — прямой путь; 2, 3, 4 — косвенные пути.

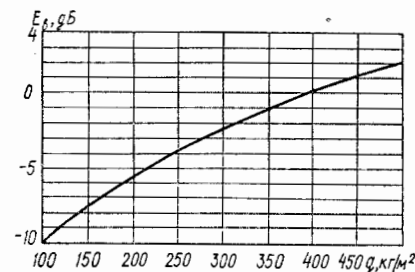


Рис. 6. Зависимость показателя звукоизоляции от воздушного шума ограждений из традиционных строительных материалов от поверхностной плотности.

При конструировании многослойных ограждений появляется возможность повышения звукоизоляции от воздушного шума путем соответствующего подбора параметров слоев. Шумовой режим в изолируемом помещении здания определяется не только проникновением воздушного шума через ограждающие конструкции, но и косвенными путями распространения звуковой энергии (рис. 5).

Расчет требуемой звукоизоляции ограждения от воздушного шума следует производить в октавных полосах отдельно для каждой ограждающей конструкции [2]. Построение частотной характеристики звукоизоляции ограждений графоаналитическим методом целесообразно производить по методу В. И. Заборова и И. И. Боголепова [2, 4, 7]. При ориентировочных расчетах показателя звукоизоляции однослойных ограждений в зависимости от поверхностной плотности рекомендуется использовать график, приведенный на рис. 6.

### Распространение ударного шума

Междуэтажные перекрытия жилых и общественных зданий нормируются также на звукоизоляцию от ударного шума. Различного вида ударные импульсы, воздействующие на перекрытия, вызывают его колебание и излучение звуковой энергии в

изолируемое помещение. Звукоизоляция перекрытий зависит от звуковой мощности, излучаемой ограждением при действии ударных импульсов, и определяется приведенным уровнем звукового давления, возникающим под перекрытием при работе стандартной ударной машинки.

Звуковая мощность, излучаемая перекрытием, в общем виде пропорциональна квадрату колебательной скорости ограждения, его площади и коэффициенту излучения.

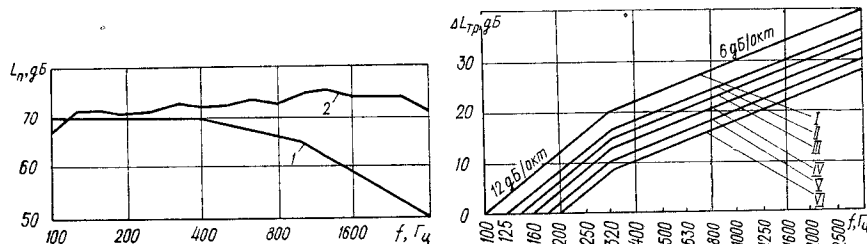


Рис. 7. Приведенный уровень ударного шума под перекрытием из многупустотного настила толщиной 22 см без пола:

1 — нормативная кривая; 2 — измеренный уровень ударного шума.

При относительно больших толщинах перекрытий обычно значения граничной частоты волнового совпадения находятся в диапазоне низких частот (100—160 Гц), поэтому коэффициент излучения в первом приближении может быть принят равным 1 (интенсивность излучения приближается к интенсивности при поршневых колебаниях бесконечной пластины).

На рис. 7 представлена частотная характеристика приведенного уровня ударного шума под перекрытием, выполненным из типовых многупустотных плит без конструкции пола. Приведенный уровень ударного шума под голым перекрытием при действии стандартной ударной машинки характеризуется преобладающим наличием высокочастотного спектра шума, который и определяет отрицательные значения показателя звукоизоляции  $E_y$ .

В современных зданиях уровень звукового давления в изолируемом помещении определяется не только звуковым излучением перекрытия, но и излучением всех ограждающих поверхностей, по которым распространяется энергия ударного шума. Возбуждаемые звуковые колебания распространяются как по смежным стенкам, так и по перекрытиям, излучая при этом звуковую энергию в воздушную среду [8].

Для тонкостенных ограждающих конструкций современных зданий можно установить три области с различной интенсивностью излучения:

область  $f < 0,6 f_{гр}$ , где коэффициент излучения определяется формулой Хекля

$$\sigma = \frac{32c_0^2}{\pi^3 f_{гр} S};$$

область  $f > f_{гр}$ , где коэффициент излучения может принимать равным 1; область  $0,6 < f_{гр} < f < f_{гр}$  — наклонный участок, связывающий первую и вторую области.

Снизить интенсивность излучения можно путем уменьшения коэффициента излучения, сдвигая граничную частоту волнового совпадения в область высоких частот. С этой целью можно устраивать снизу перекрытия гибкую обшивку на отnose в виде подвесного потолка. Даже при наличии некоторой связи между обшивкой и несущей конструкцией за счет меньшего излучения звука гибким потолком величина звукоизоляции перекрытия от ударного шума повышается. В сочетании с обшивкой стен такое мероприятие может существенно улучшить акустический режим в изолируемом помещении.

Наибольший эффект улучшения звукоизоляции перекрытий от ударного шума обеспечивает устройство по перекрытию полов на упругом основании (плавающих полов или рулонных полов). Приведенный уровень ударного шума под перекрытием с полом на упругом основании

$$L = L_n - \Delta L,$$

где  $L_n$  — уровень шума под перекрытием без пола;

$\Delta L$  — улучшение звукоизоляции за счет пола на упругом основании или рулонного пола.

Расчет звукоизоляции от ударного шума междуэтажных перекрытий заключается в построении частотной характеристики снижения приведенного уровня ударного шума  $\Delta L$  при устройстве пола, вычислении показателя звукоизоляции  $E_y$  перекрытия с полом и сравнения его с нормативным.

В современном массовом строительстве применяется сравнительно небольшое количество типов несущих перекрытий. Вычитая из измеренного уровня ударного шума значения нормативной частотной характеристики приведенного уровня ударного шума под перекрытием, можно получить нормативные частотные кривые требуемого снижения приведенного уровня ударного шума  $\Delta L_{тр}$  (рис. 8).

Помер требуемой кривой в зависимости от конструкции несущей части перекрытия:

Для сплошной или многупустотной плиты при средней поверхностной плотности несущей части, кг/м<sup>2</sup>:

Для перекрытия с гибким подвесным потолком (подшивка на отnose) при средней плотности несущей части, кг/м<sup>2</sup>.

150	.	.	.	.	.	I	150	.	.	.	.	II
200	.	.	.	.	.	II	200	.	.	.	.	IV
250	.	.	.	.	.	III	250	.	.	.	.	V

300	.	.	.	.	.	IV	300	.	.	.	.	.	VI
375	.	.	.	.	.	V							
450	.	.	.	.	.	VI							

При определении номера требуемой кривой значение фактической поверхностной плотности несущей части перекрытия округляется до ближайшей величины, конструкции полов по засыпкам в данном случае не учитываются.

Методика проведения расчета звукоизоляции перекрытий от ударного шума в зависимости от конструкции пола на упругом основании приводится в [2, 4, 11].

Акустическая развязка плавающего пола, подвергающегося ударным воздействиям, и несущей части перекрытия посредством упругого слоя (прокладок) создает условия для быстрого затухания не только энергии удара, но и энергии воздушного шума. Эффективность применения плавающего пола зависит от жесткости материала упругой прокладки и от поверхностной плотности пола, а эффективность звукоизоляции от ударного шума — от величины произведения поверхностной плотности  $m$  ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ) и толщины  $h$  упругой прокладки (см). Зависимость между  $m$  и  $h$  может быть выражена в первом приближении формулой [1]

$$mh = 50 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{см}.$$

Например, по упругой прокладке, толщина которой в сжатом состоянии равна 20 мм, следует укладывать стяжку весом не менее 25  $\text{кг}/\text{м}^2$ .

В случае устройства по перекрытию рулонного пола дополнительная звукоизоляция от ударного шума характеризуется величиной местного смятия в зависимости от частоты собственных колебаний системы, состоящей из массы падающего молотка стандартной ударной машины и упругости рулонного пола с упругой подкладкой. В момент удара под молотком образуется зона деформаций, подобная пружине, поэтому молоток можно представить в виде массы, опирающейся через пружину на перекрытие.

При большой продолжительности удара колебательное движение распространяется на большую площадь перекрытия.

Продолжительность стандартного удара — это время контакта молотка ударной машины с проектируемым чистым полом. В зависимости от типа покрытия чистого пола изменяется время продолжительности удара  $\tau$  и, следовательно, резонансная частота колебаний рулонного пола  $f_0$ :

$$f_0 = \frac{0,45}{\tau}.$$

Продолжительность стандартного удара в зависимости от материала и толщины упругой подкладки выбранного рулонного пола определяют по графику (рис. 9).

Определение величины снижения приведенного уровня ударного шума под перекрытием за счет рулонного пола производится графоаналитическим методом. Для этого строится график снижения, на горизонтальной оси которого откладывается резонанс-

ная частота  $f_0$ . Из точки  $f_0$  вправо вверх проводится прямая с наклоном 12дБ на каждую октаву. Затем на полученный график наносится кривая требуемого снижения приведенного уровня ударного  $\Delta L_{\text{тр}}$  и вычисляется показатель звукоизоляции  $E_y$ . Этот упрощенный способ применим для акустически однородных перекрытий с рулонными полами, его подробная методика приведена [2, 11].

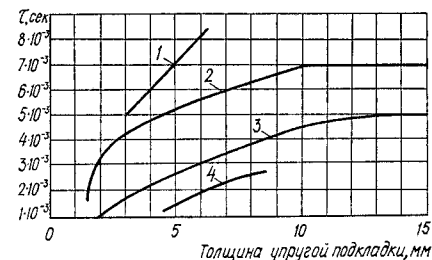


Рис. 9. Зависимость продолжительности удара от материала и толщины упругой подкладки:

1 — линопор; 2 — линолеум, реллин, линолит, ковровая дорожка на подкладке из губчатой резины; 3 — то же, на подкладке из мягкой технической листовой резины; 4 — то же, на синтетическом каучуке.

## КОНСТРУКТИВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ЗДАНИЙ

### Оценка звукоизоляции современных зданий

Проблема звукоизоляции современных жилых и общественных зданий связана с многообразием источников шума и вибраций, различными путями распространения по зданиям и, в основном, сводится к решению вопросов звукоизоляции помещений от внешних и внутренних шумов, возникающих в здании.

В последнее время в архитектурно-планировочных и конструктивных решениях зданий произошли значительные изменения, направленные на улучшение их технико-экономических и эксплуатационных показателей [12].

Рассмотрим кратко состояние звукоизоляции основных типов зданий.

**Крупнопанельные здания.** Крупнопанельное домостроение является основным направлением массового жилищного строительства. В первые годы массового строительства этих зданий проектировщики и строители не имели достаточно научно обоснованных рекомендаций и технических решений по обеспечению звукоизоляции. Акустический комфорт в первых сериях крупнопанельных жилых зданий был низок, иногда требования СНиП по звукоизоляции не выполнялись [11].

Стремление к максимальному облегчению ограждающих конструкций без учета требований звукоизоляции и основных закономерностей механизма звукопередачи вызывало многочисленные жалобы на плохую звукоизоляцию.

Применяемые в крупнопанельном домостроении ограждения можно условно разделить на акустически однородные и слоистые (раздельные).

Акустически однородные конструкции отличаются простотой и малой трудоемкостью при изготовлении, что обеспечивает их широкое применение при разработке и строительстве новых серий крупнопанельных домов (I—464, II-49, I—134, 96, IP—303, K-7-3 и др). Изоляция от воздушного шума в них достигается использованием железобетонной панели из тяжелого бетона сплошного сечения, а от ударного шума — применением рулонных покрытий пола на упругой подкладке.

Первые здания из акустически однородных конструкций имели неудовлетворительную звукоизоляцию, особенно низкой была звукоизоляция перекрытий от воздушного шума ( $E_{в}^{ср} = \text{от } -1,2 \text{ до } 7 \text{ дБ}$ ). Одной из основных причин снижения звукоизоляции ограждений в крупнопанельных зданиях с акустически однородными ограждениями является интенсивная передача звука косвенными путями; наблюдающиеся разбросы в значениях показателей звукоизоляции вызваны также неодинаковым качеством строительно-монтажных работ.

Это влияние было взято за основу при исследовании высотных 16-этажных зданий из вибропрокатных акустически однородных панелей в Киеве [12]. Междуквартирные несущие перегородки выполнены из панелей толщиной 160 мм (весом около  $400 \text{ кг/м}^2$ ), междуэтажные перекрытия — из панелей толщиной 140 мм (весом  $365 \text{ кг/м}^2$ ). Полы представлены в нескольких вариантах: паркетная кленка по двум слоям жесткого и мягкого оргалита; линолеум на теплозвукоизоляционной войлочной подкладке по песчано-асфальтовой подготовке; паркетные доски толщиной 25 мм по лагам, уложенным на упругих подкладках из мягких древесно-волокнистых плит. На рис. 10 представлены усредненные частотные характеристики звукоизолирующей способности исследованных ограждений от воздушного шума. Частотные характеристики звукоизоляции перегородок имеют выраженный провал в области средних и низких частот, вызванный эффектом волнового совпадения. Для ограждений граничная частота волнового совпадения составляет 140 Гц, что находится в пределах нормативного диапазона.

Исследования показали, что с увеличением жесткости вибропрокатных панелей и узлов их стыкования возрастает косвенная передача звуковой энергии по прилегающим конструкциям, что в ряде случаев превышает на 3—5 дБ предусмотренную СНиП II-Л. 1—71 поправку в 2 дБ.

Звукоизоляция ограждений зависит также от качества выполнения строительно-монтажных работ. Соблюдение всех требований по звукоизоляции, а также выполнение работ под наблюдением специалиста-акустика позволило повысить показатель звукоизоляции перекрытий с  $-2$  до  $+2$  дБ (эталонные перекрытия). К недостаткам строительно-монтажных работ относятся слабая герметизация платформенного стыка, некачественная заделка отверстий под монтажные петли, розетки, плохая герметизация

оконных и дверных проемов, образование жестких мостиков при устройстве полов и т. д.

В табл. 5 приведены показатели звукоизоляции междуквартирных перегородок и междуэтажных перекрытий в крупнопанельном здании из вибропрокатных панелей (Киев, жилой массив Герасеняки).

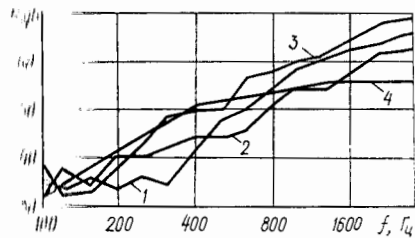
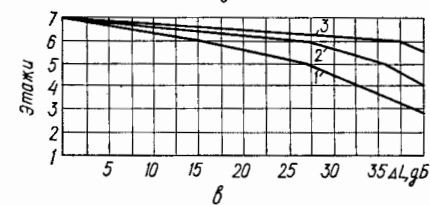
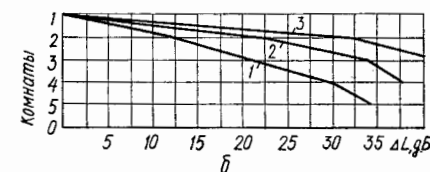
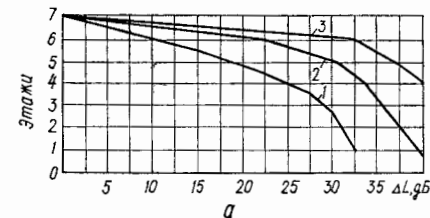


Рис. 10. Звукоизоляция ограждений крупнопанельного здания из вибропрокатных панелей от воздушного шума:

1 — междуэтажные перекрытия рядовые ( $E_{в} = -2$  дБ); 2 — междуквартирные перегородки ( $E_{в} = -1$  дБ); 3 — междуэтажные перекрытия эталонные ( $E_{в} = +2$  дБ); 4 — нормативная кривая.

Рис. 11. Распределение воздушного шума по высотному зданию из вибропрокатных панелей:

а — по вертикали; б — по горизонтали; 1 — 0,25 кГц; 2 — 0,5 кГц; 3 — 2,0 кГц.



Для крупнопанельных зданий из акустически однородных конструкций недостаточно измерений фактической собственной звукоизоляции ограждений — необходимо исследовать акустический режим здания в целом. С этой целью были изучены условия распространения звуковой энергии в вертикальном, горизонтальном и диагональном направлениях относительно источника шума и звуковых вибраций.

На рис. 11 представлены кривые затухания приведенного уровня звукового давления в помещениях 16-этажного дома при работе стандартной ударной машины на перекрытии седьмого этажа.

Исследования показали, что повышение собственной звукоизоляции стен и перекрытий за счет увеличения их толщины не может обеспечить достаточно благоприятного акустического режима в помещениях. Более эффективно увеличение коэффициента внутреннего трения конструктивного материала путем внесения в бетонную смесь соответствующих добавок. Делать акустичес-



Таблица 5. Показатели звукоизоляции ограждений в зданиях из вибропротатных акустически однородных панелей [12]

Конструкции	Толщина, мм	Звукоизоляция, дБ					
		$E_v$			$E_y$		
		макс	мин	средн.	макс	мин	средн.
Междуквартирные перегородки из тяжелого железобетона	160	0	-3	-1	-	-	-
Междуэтажные перекрытия с паркетным полом на битумной мастике; слой мягкой и слой жесткой древесно-волокнистой плиты	170	+2	-4	-2	+2	-1	+1
Междуэтажные перекрытия с полами из паркетной доски по лагам; прокладки из двух слоев мягкой древесно-волокнистой плиты	215	+4	-5	-2	+9	+5	+6
То же, эталонные перекрытия, выполненные под постоянным надзором специалиста-акустика	215	+4	+1	+2	-	-	-

кие разрывы и изменять конструкции стыков, применяя упругие прокладки, затруднительно, так как снижается прочность и жесткость соединений.

Акустически отдельные (слоистые) конструкции крупнопанельных зданий применяются при необходимости уменьшения веса и поверхностной плотности конструкций. Это — междуквартирные перегородки с воздушным промежутком из гипсобетонных панелей (типовой проект 1—335, 1—480 и т. д.), междуэтажные перекрытия с полами на упругом основании (проект 1—464, 1—335, II-18 и др.), отдельные перекрытия (проект II—32 и др.). Теоретически ожидаемое улучшение звукоизоляции отдельных конструкций крупнопанельных зданий в практических условиях оказывается гораздо ниже вследствие наличия жестких связей между элементами отдельных ограждений. Наличие жесткой связи между составляющими панелями по контуру на частотах выше граничной частоты приводит к повышению коэффициента звукопередачи за счет перехода продольных и изгибных волн из одной панели в другую. Кроме того, косвенные пути распространения звуковой энергии в многоэтажных зданиях нередко ограничивают максимально достижимую величину звукоизоляции до  $E_v = +2 \div +5$  дБ.

*Здания из местных материалов.* При строительстве малоэтажных жилых и общественных зданий в сельских районах находят самое широкое применение ограждающие конструкции из местных материалов — камышитовые, кострбетонные, фибролитовые,

фрагмолитовые, древесно-стружечные и подобные плиты. Использование таких материалов в эффективных ограждающих конструкциях сельских зданий должно производиться с учетом их звукоизолирующих свойств. При проектировании и строительстве сельских зданий иногда ошибочно считают, что использование в конструкциях зданий местных материалов с высокими физико-техническими параметрами повышает одновременно и уровень их звукоизоляции.

В зданиях с ограждениями из фибролита средние показатели звукоизоляции междуэтажных перекрытий равны  $E_v = +2$  дБ,  $E_y = +3$  дБ, а междуквартирных стен —  $E_v = +3$  дБ [13].

Стены из материалов с весом  $1 \text{ м}^2$  конструкции 50—100 кг могут успешно применяться в зданиях общественного назначения: административно-канторских, Домах колхозников, общежитиях, школах и т. п.

Стены из легких материалов, как правило, возводятся по каркасу из деревянных брусков. Эти бруски, скрепляемые с каркасом гвоздями, создают жесткую связь между отдельными элементами стены, что снижает звукоизоляцию ограждения.

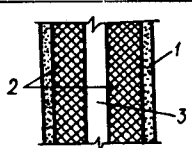
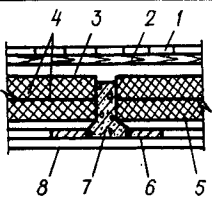
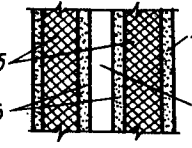
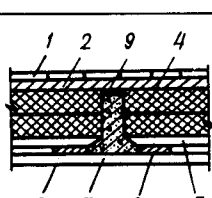
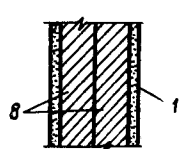
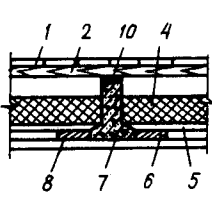
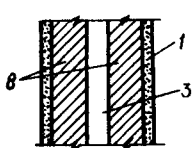
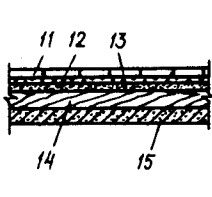
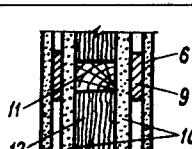
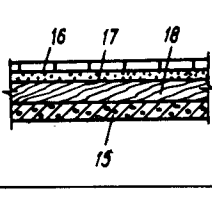
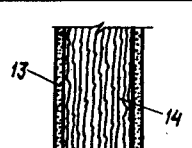
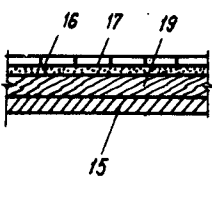
Приведенные в табл. 6 междуэтажные перекрытия могут использоваться в зданиях общественного назначения. При применении этих перекрытий в жилищном строительстве их следует выполнять раздельной конструкции (с воздушным промежутком). В этом случае без увеличения поверхностной плотности конструкции изоляция от воздушного шума будет повышена, а устройство других прокладок под конструкцией пола обеспечит изоляцию от ударного шума.

Особенно целесообразно использование местных материалов при строительстве в сельской местности зданий из объемных элементов заводского изготовления.

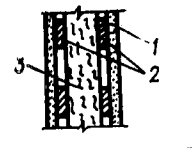
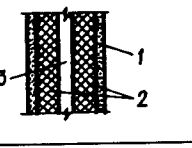
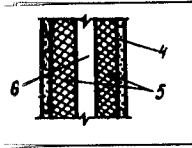
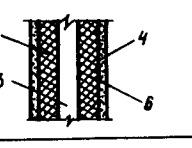
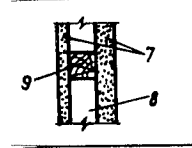
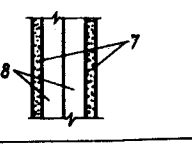
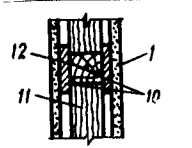
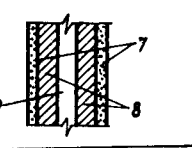
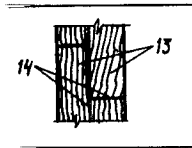
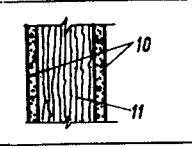
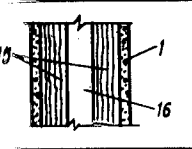
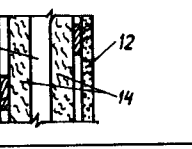
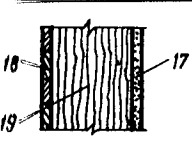
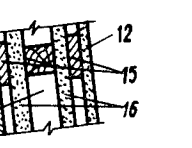
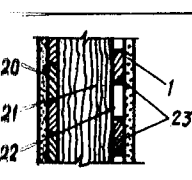
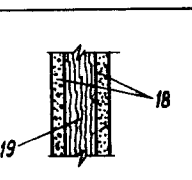
*Объемно-блочные дома (ОБД).* Строительство зданий из объемных элементов (блок-комнат) повышенной заводской готовности получает в последнее время все большее развитие. Конструктивные особенности зданий из объемных элементов позволяют повысить темпы строительства и в ряде случаев улучшают их эксплуатационные качества. Однако выполнение внутренних ограждений из тонкостенных железобетонных элементов, наличие жестких сопряжений между блоками и сплошного воздушного промежутка по всей высоте и ширине здания ухудшают акустические условия в жилых помещениях [9, 14].

Лабораториями акустики НИИСК и НИИСФ Госстроя СССР были проведены комплексные исследования звукоизоляционных свойств объемно-блочных зданий, построенных в различных горных странах. Было установлено, что величина звукоизоляции жилых помещений в объемно-блочных зданиях зависит не только от собственной звукоизолирующей способности ограждения, разграничивающего «шумное» и «тихое» помещения, но и в значительной мере от передачи звуковой энергии по примыкающим к нему

Таблица 6. Конструктивные схемы конструкций из местных материалов

Междуквартирные перегородки	Вес 1 м <sup>2</sup> , кг	E <sub>в</sub> , дБ	Междуэтажные перекрытия	Вес 1 м <sup>2</sup> , кг	E <sub>в</sub> , E <sub>у</sub> , дБ
	160	+3 +2 +1		—	E <sub>в</sub> = 0 E <sub>у</sub> = +5
	100	-1		—	E <sub>в</sub> = -3 E <sub>у</sub> = +5
	150	-1		—	E <sub>в</sub> = -8 E <sub>у</sub> = 0
	150	0		260	E <sub>в</sub> = -3
	152	+2		250	E <sub>в</sub> = -4
	100— —90	0		225— 260	E <sub>в</sub> = -2

и показатели их звукоизоляции

Междуквартирные перегородки	Вес 1 м <sup>2</sup> , кг	E <sub>в</sub> , дБ	Перегородки для общественных зданий	Вес 1 м <sup>2</sup> , кг	E <sub>в</sub> , дБ
	60	-9		100	-3
	50	От -6 до -8		100	-2
	30	-8		100	-4
	60	-9		100	-3
	63	-9		120	-5
	46	-9		80—95	-3
	45	-7		51	-3
	—	-7		31	-3





лишь при установке в воздушном промежутке между блоками звукоизоляционной диафрагмы из твердопрессованных древесно-волоконистых плит толщиной 4 мм на всю площадь перегородки и укладке в воздушном промежутке междуэтажных перекрытий ограничивающих испытываемую перегородку, минераловатных плит толщиной 60—80 мм. При этом понизу диафрагму засыпали сухим песком на высоту 50—80 мм с обеих сторон, а отдельные ее листы плотно соединяли между собой.

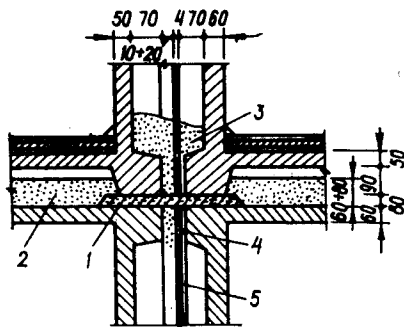


Рис. 12. Экспериментальные конструкции объемно-блочного здания (Краснодар):

а — узел сопряжения блок-комнат; 1 — раствор М100; 2 — минераловатная плита толщиной 60—80 мм; 3 — керамзит (фракция 5); 4 — пакля, смоченная в гипсе; 5 — древесноволокнистая жесткая плита толщиной 4 мм; 6 — межквартирная стена; 1 — пенопласт; 2 — междуквартирные стены; 6 — междуэтажное перекрытие; 1 — плита пола объемного блока; 2 — изоляция; 3 — плита потолка.

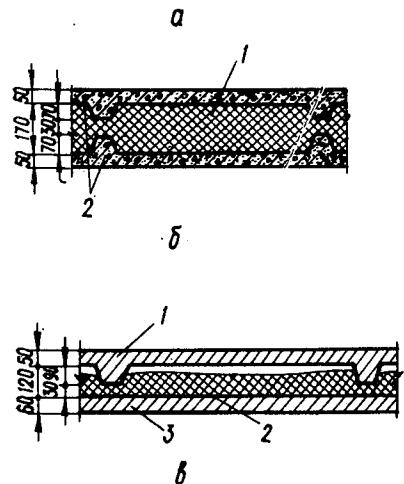
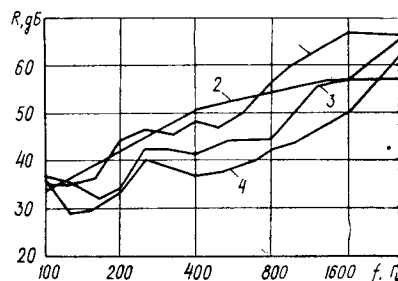


Рис. 13. Частотные характеристики звукоизолирующей способности перегородок от воздушного шума:

а — с заполнением промежутка звукоизолирующей диафрагмой из жесткой древесноволокнистой плиты; б — нормативная кривая; в — с заполнением промежутка пенопластом МФП; г — без мероприятий по усилению звукоизоляции.



Усредненные результаты измерения звукоизолирующей способности межквартирных перегородок в объемно-блочных зданиях Краснодара приведены на рис. 13. Наибольшие провалы звукоизоляции наблюдаются в области средних и низких частот. Здесь звукоизоляция зависит от размеров ограждений и потерь как за счет внутреннего трения, так и за счет распределенного вибродемпфирования на границах. Поэтому звукоизоляцию ограждений в широком диапазоне частот можно существенно улучшить путем увеличения коэффициента потерь материала конструкции

и уменьшением размеров и изгибной жесткости ограждения можно редуцировать местоположения провалов звукоизоляции.

Измерения и сопоставления различных вариантов усиления звукоизоляции показывают, что отсутствие добавочного звукооплощения в воздушном промежутке между блок-комнатами приводит к ухудшению акустических условий в помещениях и интенсивному распространению воздушного шума по зданию в целом. При наличии жесткой связи между блоками увеличение воздушного промежутка до 20 см не обеспечивает ожидаемого увеличения звукоизоляции ограждений вследствие звукопередачи увеличенными путями. Если разобщение блок-комнат по вертикали в местах опирания затруднено (так как возможно нарушение общей пространственной жесткости здания и возникновение неравномерной осадки), то разобщение блоков по горизонтали вполне реально и не требует особых затрат. Вместо заливки поэтажных стяжек между блоками цементным раствором и образования четкого узла необходимо использовать заделку указанных швов звукоизоляционным материалом, например, твердыми минераловатными плитами, асбокартоном, мягкой древесноволокнистой плитой.

Различные технологические и усадочные трещины в ограждениях, отверстия для розеток под электроаппаратуру приводят к снижению звукоизоляции конструкций. Заделка их гипсовым раствором на заводе, как правило, оказывается недостаточной, поэтому розетки целесообразно устанавливать во внутриквартирных ограждениях.

На звукоизоляции объемных зданий особенно большое влияние оказывает распространение звуковой энергии (в виде воздушного шума и звуковых вибраций) по зданию в целом.

На рис. 14 показаны частотные характеристики приведенного уровня звукового давления в помещениях 5-этажного здания из объемных элементов типа БК-4 (Кременчуг) при работе ударной машины на перекрытии пятого этажа (в вертикальном направлении). Примерно такие же потери звуковой энергии наблюдаются в горизонтальном направлении относительно источника шума (рис. 15, а). В диагональном направлении потери энергии при прохождении через первый стык достигают 20 дБ, в более удачных помещениях — 3—5 дБ (рис. 15, б).

Шумовой режим в помещениях, удаленных от источника шума, определяется в основном звуковыми вибрациями (колебательной скоростью) и излучательной способностью ограждающих элементов блок-комнат, которая характеризуется частотной зависимостью. На рис. 16 показано снижение уровня звуковой вибрации потолка в пределах одного этажа. Наиболее интенсивно затухают высокочастотные составляющие (до 30 дБ на 1 блок), затухание низкочастотной вибрации значительно ниже.

Здания из легких бетонов. При выполнении ограждающих конструкций зданий из тяжелого бетона акустически однородные

конструкции обеспечивают показатель звукоизоляции от воздушного шума  $E_b=0$  дБ при поверхностной плотности порядка  $400 \text{ кг/м}^2$ . Применение мелких бетонов при изготовлении внутренних ограждающих конструкций зданий позволяет обеспечить данный показатель звукоизоляции при значительно меньшем весе [15]. Физические предпосылки возможности обеспечения повышенной звукоизоляции конструкции из легких бетонов основаны на их увеличенной толщине, более высоком значении гра-

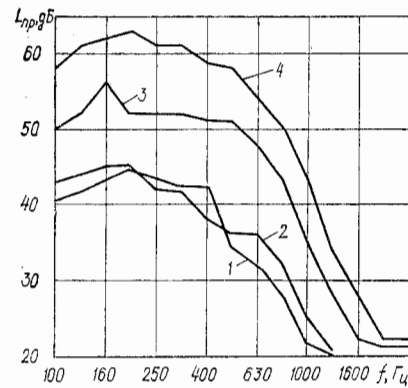
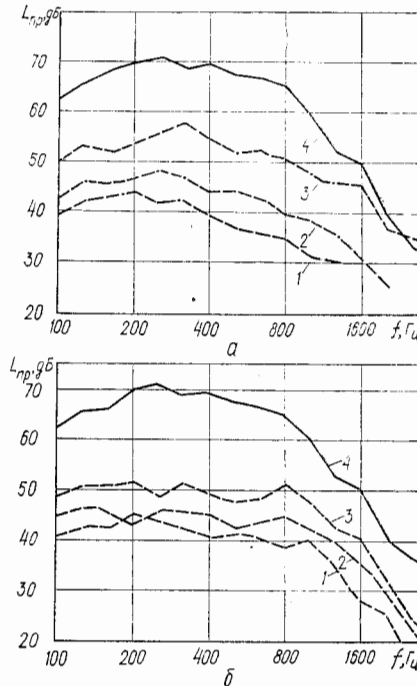


Рис. 14. Распространение ударного шума по вертикали в объемно-блочном здании типа БК-4 (Кременчуг). Цифрами обозначены этажи здания.

Рис. 15. Распространение ударного шума в горизонтальном (а) и диагональном (б) направлениях в здании типа БК-4. 1—4 — комнаты, удаленные от источника шума.



ничной частоты, вызванное различием в коэффициентах потерь, определяется выражением

$$\Delta R = 10 \lg \frac{\eta_1}{\eta_2},$$

где  $\eta_1$  и  $\eta_2$  — коэффициенты потерь материалов сравниваемых конструкций.

Можно решить и обратную задачу: приняв для обычного бетона  $\eta_1=5 \cdot 10^{-3}$  и зная увеличение звукоизоляции, вызванное повышенным коэффициентом потерь,  $\Delta R=3$  дБ, получим величину коэффициента потерь шлакопемзобетона  $\eta_2=10^{-2}$ .

Использование легких бетонов с повышенным коэффициентом потерь является одним из перспективных направлений повышения звукоизоляции зда-

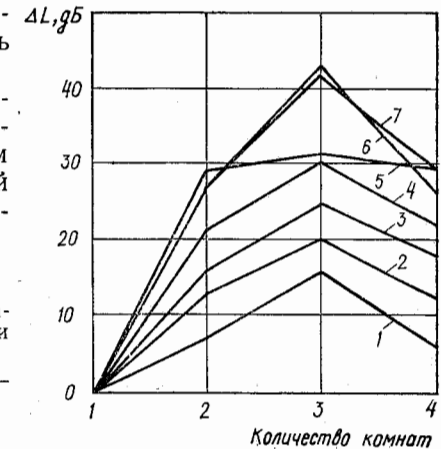


Рис. 16. Затухание звуковых вибраций, Гц, в пределах этажа в здании типа БК-9 (Киев):

1 — 100; 2 — 125; 3 — 250; 4 — 500; 5 — 1000; 6 — 2000; 7 — 1000.

ний. Для практической реализации этой возможности следует направить усилия материаловедов, технологов и конструкторов на разработку соответствующих добавок в бетон, влияющих на изменение характеристик сырья и заполнителей и позволяющих уменьшить потери на внутреннее трение.

#### Защита зданий от наружных шумов

Обеспечение необходимого акустического комфорта в помещениях зданий современного города возможно путем выполнения мер по защите зданий от внешних шумов. Защита зданий от внешних шумов, источниками которых являются автомобильный и рельсовый транспорт, промышленные предприятия, самолеты, городской шум и т. д., предусматривает следующие мероприятия: уменьшение звуковой мощности источника шума; уменьшение шума на пути его распространения; повышение звукоизоляции внутренних ограждающих конструкций здания.

В комплекс практических задач по обеспечению необходимого акустического комфорта в зданиях входят следующие:

конструктивными и административными средствами создать малополумные виды транспорта, агрегатов и механизмов, регла-

ментировать место их расположения относительно жилых зданий и время их работы;

градостроительными средствами способствовать снижению уровней шума в городской застройке;

конструктивно-строительными методами обеспечить повышение звукоизоляции зданий.

Как показывают результаты исследований, 30—40% жителей городов проживают в настоящее время в условиях акустического дискомфорта. В последнее время в связи с интенсивным расширением городов и ростом интенсивности авиатранспорта особое беспокойство населению причиняет авиационный шум. Так, по данным Киевпроекта, примерно 200 тыс. жителей Киева испытывают акустический дискомфорт, вызванный размещением аэропорта Жуляны в черте города\*.

Меры по защите зданий от шумов зависят от конкретных условий, в основном их можно свести к следующим:

увеличение расстояния между источником шума и зданием;

применение акустических шумозащитных экранов, откосов, зданий-экранов и др.;

размещение между источником шума и защищаемым зданием шумозащитных зеленых насаждений;

градостроительные планировочные мероприятия по оптимальному размещению шумных и защищаемых от шума объектов;

максимальное озеленение территории застройки и улиц;

использование рельефа местности;

прокладка шумных автомагистралей и железнодорожных путей вне пределов жилой застройки и др.

Мероприятия по защите зданий от внешних шумов следует предусматривать уже на стадии разработки генерального плана — именно на этой стадии разработка мер по борьбе с шумом является наиболее эффективной.

Для решения практических задач по защите зданий от шума необходимы следующие данные [16, 17]:

санитарные нормы допустимых уровней шума в помещениях различных зданий, на территории жилой застройки, в помещениях различных учреждений;

акустические характеристики источников шума (уровни звуковой мощности, спектры);

данные о закономерностях распространения шумов в условиях городской застройки;

карта шума города;

акустические характеристики различных шумозащитных устройств, сооружений и т. п.;

инженерные методы расчетов шумового режима при составлении проектов районной планировки и застройки микрорайонов.

\* В настоящее время Минграднавиации СССР и Минздрав СССР разрабатывают государственный стандарт, регламентирующий допустимый уровень шума в жилых районах вблизи аэродромов и аэропортов.

На основании этих данных можно выбрать то или иное наиболее оптимальное конкретное мероприятие. Выбор наилучшего решения по защите зданий от шума должен решаться в комплексе с другими работами по благоустройству жилых зон микрорайонов.

Хорошие результаты по защите зданий от шума транспортных потоков дает заглубление магистральных дорог путем использо-

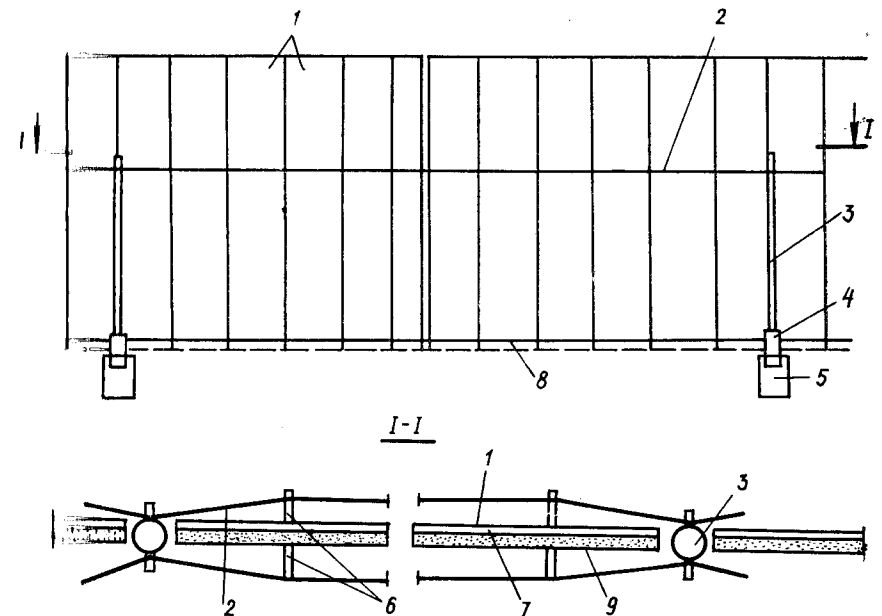


рис. 17. Экран для защиты зданий от шума транспортного потока:

1 — железобетонные пластины; 2 — трос; 3 — металлические опоры; 4 — гильзы; 5 — фундамент; 6 — распорки; 7 — крепежные пластины; 8 — железобетонный лоток; 9 — звукопоглощающий материал.

вания природного рельефа местности, причем откосы выемок целесообразно покрывать зелеными насаждениями. Наиболее предпочтительно комбинационное решение, когда для защиты зданий от внешних шумов используются экранирующие сооружения, зеленые насаждения, земляные кавальеры и др. Эффект снижения шума может составлять при этом 20—30 дБА [17].

В последнее время в практике защиты зданий от шума широко используются специальные шумозащитные экраны, эффективность которых во многом определяется их конструктивными решениями (средняя эффективность может колебаться от 10 до 20 дБА в зависимости от спектра шума).

Институтом Гипроград при участии автора разработана конструкция шумозащитного экрана\* (рис. 17), выполненного в ви-

\* Авторское свидетельство на изобретение № 565096 «Шумозащитный экран» «Бюллетень изобретений», № 26, 1977.

де набора пластин, соединенных между собой упругими прокладками и закрепленных в средней части между горизонтально натянутыми гибкими нитями, например, тросами, смещенными относительно друг друга по горизонтали. Нижняя часть пластин жестко заземлена.

Горизонтально натянутые нити могут быть смещены в горизонтальной плоскости относительно друг друга посредством жестких распорок. В этом случае пластины являются верхним поясом шпренгельной системы, что обеспечивает повышенную прочность экрана при действии ветровых нагрузок. Плоские пластины могут соединяться между собой впритык и внахлестку, причем нахлестка должна быть не менее двух толщин пластины. Для подвески пластин можно использовать несколько нитей, размещаемых в вертикальной плоскости. Для увеличения эффективности в области высоких частот целесообразно поверхность пластин, обращенную в сторону источника шума, выполнять звукопоглощающей, используя для этого звукопоглощающую штукатурку или бетон. При стыковке пластин впритык в качестве упругих прокладок могут использоваться резиновые трубки, заполненные упруго-вязким материалом, например мастикой ЦПЛ.

Такой экран можно оборудовать практически на любой высоте над уровнем земли вдоль шумных магистралей. Монтаж экрана осуществляется с помощью крана из отдельных секций, собранных из пластин в заводских условиях.

Для защиты зданий от шума рельсового транспорта, например трамвая, экран устанавливается в непосредственной близости от рельсового пути, что повышает его звукопоглощающую способность. При этом следует учитывать, что в условиях действия загрязнения и атмосферных осадков пористые звукопоглощающие материалы быстро теряют свою эффективность.

Шумозащитный экран повышенной эффективности с увеличенным телесным углом раствора\* состоит из отдельных плоских пластин из плотного материала, соединенных жестко между собой и промежуточными опорами, и звукопоглощающих элементов в виде расположенных горизонтально со стороны источника шума полуцилиндрических полых тел, в стенках которых образованы отверстия, причем основания тел соединены жестко с наружной поверхностью пластин, а внутренняя полость разделена расположенными перпендикулярно к оси тела диафрагмами (рис. 18).

При таком выполнении экрана устраняется необходимость применения дорогостоящего звукопоглощающего материала — его можно изготовить из традиционных строительных материалов.

Акустическая эффективность экрана основана на том, что система полых тел полуцилиндрической формы, будучи возбужде-

\* Решение о выдаче авторского свидетельства на изобретение по заявке № 2061488/33, кл. E04B 1/82.

на падающей на нее звуковой волной, отбирает от звукового поля достаточно большую энергию в широкой области частот.

Уменьшения дифракции, обычно снижающие эффективность плоских экранов, в данном случае будут сопровождаться явлениями интерференции прямых и отраженных волн. За экраном происходит снижение уровня звукового давления по частотам спектра вследствие образования звуковой тени.

Длина экрана или другого армирующего сооружения должна быть не менее двух длин защищаемого от шума здания. Выбор геометрических параметров экрана следует производить с учетом рекомендаций [2, 16].

Часто при разработке мер по защите зданий от внешних шумов неоправданно переоценивают значение зеленых насаждений. Фактическая акустическая эффективность зеленых насаждений невелика и составляет 5—6 дБА. Для того чтобы посадки насаждений давали заметный эффект, нужно обеспечить плотное примыкание крон деревьев между собой и создать плотную многоярусную структуру достаточной ширины.

Эффективность поглощения шума защитными насаждениями прямо пропорциональна частоте шума (табл. 8).

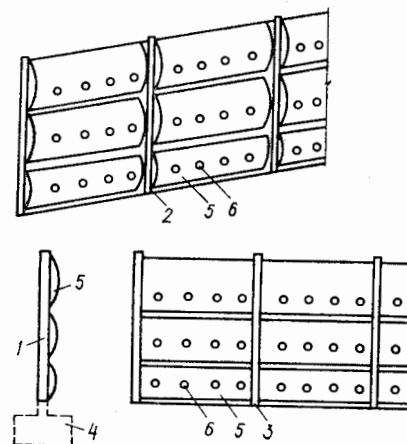


Рис. 18. Экран для защиты от шума рельсового транспорта:  
1 — плоские пластины; 2 — опорные стойки; 3 — монолитный шов; 4 — фундамент; 5 — полуцилиндрические полые тела; 6 — отверстия.

Таблица 8. Эффективность снижения шума зелеными насаждениями

Виды насаждения	Удельное поглощение шума, дБ/м, при частотах, Гц					Средняя величина снижения шума, дБА
	200—400	400—800	800—1600	1600—3200	3200—6400	
Лиственница (крона)	0,08—0,11	0,13—0,15	0,14—0,15	0,16	0,19—0,2	0,15
Лиственница (ствол)	0,1—0,11	0,1	0,1—0,15	0,1	0,14—0,2	0,15
Лиственница (крона)	0,1—0,12	0,14—0,17	0,18	0,14—0,17	0,23—0,3	0,18
Лиственница (ствол)	0,05	0,05—0,07	0,08—0,1	0,11—0,15	0,17—0,2	0,12—0,17
Лиственница живая изгородь	0,13—0,15	0,17—0,25	0,18—0,35	0,2—0,4	0,3—1,5	0,25—0,35

Для большинства зеленых насаждений величина удельного поглощения шума составляет 0,15—0,17 дБ на 1 м ширины насаждения (зеленой массы), поэтому наиболее целесообразно приме-

нять их в сочетании с другими экранирующими сооружениями. При этом необходимо учитывать сезонность действия зеленых насаждений.

### Звукоизоляция стен и перегородок

Обеспечение акустического комфорта в жилых зданиях от действия внутренних источников шума достигается устройством звукоизолирующих внутренних ограждений, требования к звукоизоляции которых становятся все более жесткими. Как было указано выше, регламентируемые СНиПом величины нормативных показателей стен и перегородок могут оказаться недостаточными при действии высокоинтенсивных источников шума внутри здания. Так, нормативный показатель звукоизоляции  $E_v = 0$  дБ для междуквартирных стен обеспечивает необходимую тишину в соседних квартирах при обыкновенном бытовом шуме или разговорной речи, однако при шуме повышенной громкости (80—90 дБ), который создают современные радиоприборы, этот показатель звукоизоляции оказывается неудовлетворительным. В данном случае он должен составлять  $E_v = +2 \div 5$  дБ. Стены и перегородки в современных зданиях рассчитываются на звукоизоляцию от воздушного шума. Наиболее распространенными остаются однослойные ограждения.

**Однослойные стены.** Как уже было отмечено, расхождения между измеренными и расчетными частотными характеристиками звукоизоляции однослойных ограждений из различных материалов объясняются недостаточным учетом всех факторов, влияющих на звукоизоляцию: косвенных путей распространения шума, характеристик потерь, условий закрепления, жесткости резонансных эффектов, функций корреляции звукового давления и т. д. Учет всех указанных факторов значительно усложняет инженерный расчет звукоизоляции панелей. В этом случае необходимо вести расчет по точным формулам, например импедансным методом, с использованием ЭВМ.

Для ориентировочной средней оценки звукоизолирующей способности ограждений из традиционных строительных материалов с достаточной для практики точностью можно использовать следующие приближенные формулы:

$$R_{cp} = 25 \lg 0,01m + 36 \text{ дБ}$$

или

$$E_v = 25 \lg 0,01m - 14 \text{ дБ.}$$

Традиционные строительные материалы (за исключением дерева, стали и стекла) характеризуются примерно одинаковыми коэффициентами потерь  $\eta$  и граничными частотами волнового совпадения (при  $m = 100 \text{ кг/м}^2$  и  $\eta = 5 \cdot 10^{-3}$   $f \approx 300 \text{ Гц}$ ).

При выполнении акустических расчетов более полную информацию о звукоизоляционных свойствах панелей дает построение графоаналитическим методом приближенной частотной харак-

теристики звукоизоляции. Суть этих приближенных методов сводится к определению положения точек волнового совпадения по известным значениям толщины (для стальных или деревянных конструкций) или поверхностной плотности для традиционных строительных материалов и обычно не вызывает затруднений. Следует, однако, отметить, что горизонтальный участок кривой звукоизоляции является слишком идеализированным и далек от действительной звукоизоляции в этой области, поэтому этот вопрос требует дальнейшей разработки.

При расчете и конструировании звукоизоляционных панелей стен и перегородок необходимо учитывать по возможности все указанные факторы. Особое внимание следует уделять подбору материалов с максимальными значениями модуля потерь  $\eta E$  ( $E$  — модуль упругости). Раньше считалось, что коэффициент потерь не оказывает существенного влияния на звукоизоляцию — исследованиями установлена ошибочность этого утверждения: величина улучшения звукоизоляции за счет повышения коэффициента потерь может составить 10—12 дБ.

Обычно однослойные междуквартирные стены выполняют несущую функцию в зданиях, поэтому требования по прочности зависят от выбора соответствующего строительного материала (бетон, кирпич и др.).

Наличие в однослойных стенах и перегородках сквозных отверстий, неплотностей, трещин приводит к существенному (до 10—15 дБ) снижению звукоизоляции, особенно в области высоких частот.

Повысить звукоизоляцию однослойных стен можно путем устройства по ним обшивки на отnose (рис. 19). Эффект повышения звукоизоляции такой конструкции связан с аномальным излучением звука обшивкой, граничная частота которой находится выше нормируемого диапазона частот.

Известны случаи повышения таким образом звукоизоляции стены из шлакоблоков толщиной 22 см с — 3 дБ до +10 дБ [18]. Стена была облицована с двух сторон гибкой плитой на отnose из асбофанеры толщиной 6 мм по деревянным рейкам толщиной 4 см с шагом 90—100 см. Кроме того, для устранения косвенной звукопередачи с аналогичной обшивкой были выполнены внутренние стены, примыкающие к разделяющей стене, а перекрытие содержало подвесной потолок и плавающий пол.

Гибкую обшивку целесообразно располагать со стороны защищаемого от шума помещения. При выборе материалов для нее следует стремиться к максимальной гибкости и возможно большому весу с тем, чтобы граничная частота волнового совпадения была выше 1600—2000 Гц. В наибольшей степени этому требованию отвечают древесно-стружечные плиты.

Ориентировочную величину отnose обшивки от стены можно определить исходя из следующего соотношения [1]:

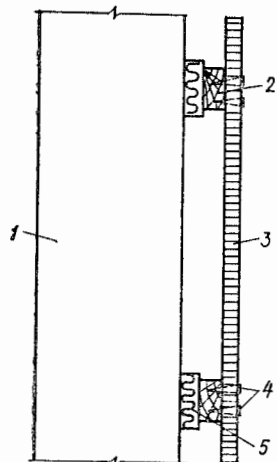
$$ma \geq 50 \text{ кгсм/м}^2,$$



где  $m$  — поверхностная плотность обшивки,  $\text{кг/м}^2$ ;  
 $a$  — величина отбоя, см.

В соответствии с этим гибкая обшивка, например поверхностной плотностью  $10 \text{ кг/м}^2$ , должна крепиться к стене с отбоям не менее 5 см.

Применение гибкой обшивки на отбоях весьма эффективно также и для повышения звукоизоляции относительно легких стен и перегородок. Выигрыш звукоизоляции за счет уменьшения коэффициента излучения может достигнуть величины 15—20 дБ в диапазоне средних и высоких частот.



Устройство указанной облицовки непосредственно по однослойному ограждению путем ее прикрепления по всей площади к стене с точки зрения звукоизоляции является недопустимым и может привести (вследствие возникновения резонансных явлений и усиления косвенной звукопередачи) к значительному снижению звукоизоляции помещения.

Рис. 19. Однослойная стена с обшивкой на отбоях:  
1 — стена; 2 — деревянные рейки; 3 — гибкая обшивка; 4 — шурупы; 5 — упругая прокладка.

В случае использования для обшивки материалов с невысоким коэффициентом звукопоглощения зазор между обшивкой и стеной целесообразно заполнять рыхлым звукопоглощающим материалом.

Влияние коэффициента потерь материала на звукоизоляцию однослойных ограждений сказывается в большей мере при  $m < 250 \text{ кг/м}^2$ . При  $m > 250 \text{ кг/м}^2$  определяющим является фактор передачи звуковой энергии на примыкающие строительные конструкции, который достигает максимума при равных толщинах разделяющей и примыкающей стен [19]. Поэтому при выполнении стыков между стенами и перегородками в здании необходимо предусматривать герметичную заделку мест сопряжения, а в местах стыкования конструкций оставлять вертикальный зазор шириной 15—20 мм, заполняемый на всю глубину. Для заделки стыков рекомендуется использовать специальные герметики или плотное конопачение в сочетании с заполнением раствором на глубину 30—40 мм. Хороший эффект дает также устройство штраб в примыкающих стенах, в которые заводятся междуквартирные перегородки.

В строительстве часто применяются конструкции стен с замкнутыми воздушными полостями внутри, которые используются для облегчения и повышения теплоизоляции. Многочисленные эксперименты показывают, что полости, размеры которых мень-

ше длины изгибной волны, не влияют существенно на звукоизоляцию. Если это условие не выполняется, то средняя звукоизоляция может снизиться по сравнению с расчетной на 3—6 дБ.

**Многослойные стены.** При необходимости повышения звукоизоляции и облегчения стен целесообразно использовать многослойные конструкции, состоящие из слоев несущего материала и звукоизоляционных упругих слоев (в качестве последних используют также воздушные прослойки).

Как правило, в строящихся в настоящее время жилых домах в качестве междуквартирных многослойных перегородок применяются двухслойные раздельные конструкции, состоящие из двух одинаковых жестких стенок и воздушного промежутка между ними. С точки зрения звукоизоляции такие перегородки наименее эффективны, т. к. их собственные частоты находятся в наиболее важном частотном диапазоне, воспринимаемом человеком (100—800 Гц). Нередко показатель звукоизоляции таких перегородок из бетона, гипсобетона и т. п. при толщине воздушного промежутка 4—8 см составляет от —5 до —12 дБ. Для повышения показателя звукоизоляции  $E_v$  до 0 дБ приходится увеличивать поверхностную плотность конструкции до 250—300  $\text{кг/м}^2$ , что ликвидирует преимущества облегчения, характерные для многослойных конструкций. С другой стороны, междуквартирные перегородки должны обеспечивать необходимую жесткость и прочность конструкции, что обуславливается эксплуатационными требованиями. Поэтому выполнить такие стенки гибкими не всегда бывает возможно.

С точки зрения повышения звукоизоляции двойные перегородки с гибкими стенками, разделенные воздушным промежутком, наиболее эффективны. Вследствие необходимости применения и внедрения в строительство облегченных ограждающих конструкций необходимую их звукоизоляцию следует обеспечивать соответствующим подбором слоев и повышением коэффициента потерь.

Полезный акустический (звукоизоляционный) эффект упругого промежуточного слоя проявляется особенно ярко в области средних частот. В области низких частот до граничной частоты инерционного совпадения может иметь место ухудшение звукоизоляции в зависимости от величины потерь в промежуточном слое. При проектировании таких ограждений необходимо стремиться к максимальному уменьшению собственной частоты колебаний  $f_0$ , т. к. при этом амплитуды колебаний стенки со стороны изолируемого ограждения будут уменьшены вследствие того, что частоты падающих на ограждение звуковых волн будут выше  $f_0$ .

Повысить звукоизоляцию двойных перегородок с воздушным промежутком можно за счет изменения жесткости составляющих панелей. При одинаковом весе соотношение цилиндрических жесткостей панелей должно составлять 0,15—0,20, что позволяет практически добиться повышения звукоизоляции на 5—10 дБ.



Однако технические и технологические трудности, возникающие при реализации в практике массового строительства этого предложения (так же как и устройство гибких обшивок на относительно ограничивают область и возможность их использования. Выполнение составляющих стенок из различных материалов с различным объемным весом в условиях поточного индустриального строительства с высокими темпами также затруднено.

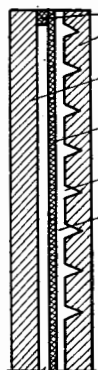


Рис. 20. Трехслойная звукоизоляционная панель:  
1 — крепежные ребра; 2, 3 — сплошные наружные плиты; 4 — диафрагма; 5 — пазы; 6 — воздушный промежуток.

Увеличить звукоизоляцию двойных перегородок можно также путем повышения потерь звуковой энергии в воздушном промежутке. На рис. 20 приведена конструкция трехслойной перегородки, в звукопоглощающем промежуточном слое которой размещена диафрагма в виде сетки\*. Ячейки сетки заполнены тяжелым материалом, например цементным раствором. Перегородка состоит из наружных плит, например из гипсобетона  $h=8$  см, с взаимно перпендикулярными пазами и воздушным промежутком между ними. Расстояние между пазами составляет не менее половины длины волны изгиба в стенке. По двум противоположным краям плиты расположены ребра из слоя упругого и плотного сплошного материала, к которому крепится диафрагма, состоящая из металлической сетки и слоя заполнителя. Наличие тяжелой и жесткой диафрагмы в воздушном промежутке позволяет уменьшить количество акустической энергии, проходящей через панель. Годовой экономический эффект от применения данных перегородок в зданиях серии ММ-640, по данным Киевпроекта, составляет 26 тыс. руб.

Интересно отметить, что несмотря на существенное различие в весе, диафрагма из плит сухой штукатурки по сетке дает примерно такое же улучшение звукоизоляции, как и песок.

На рис. 21 показана звукоизолирующая способность перегородки с различными диафрагмами внутри воздушного промежутка (данные лабораторных испытаний). Наибольший звукоизолирующий эффект дает диафрагма из сетки с ячейками, заполненными цементным раствором, особенно в области низких частот, где звукоизоляция обычно недостаточна ( $E_B = +2$  дБ); при наличии только воздушного промежутка показатель звукоизоляции составляет лишь  $-7$  дБ.

\* Авторское свидетельство на изобретение № 251188 «Трехслойная звукоизоляционная панель». Авторы: Тимофеенко Л. П., Мякшин В. Н. «Бюллетень изобретений», № 27, 1969.

Метранением жесткой связи между плитами двойного ограждения можно существенно увеличить звукоизоляцию перегородки и без заполнения воздушного промежутка, особенно в зданиях из блок-комнат, где конструктивные особенности позволяют резко

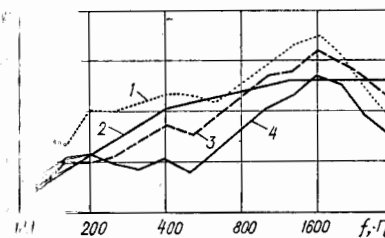


Рис. 21. Звукоизоляция трехслойной перегородки (гипсовые плиты толщиной 80 мм и воздушный промежуток 40 мм):  
1 — нормативная кривая ( $E_B = +2$  дБ); 2 — диафрагма из армоцемента толщиной 10 мм ( $E_B = +2$  дБ); 3 — диафрагма из листов сухой штукатурки по металлической сетке ( $E_B = +2$  дБ); 4 — без диафрагмы ( $E_B = -7$  дБ).

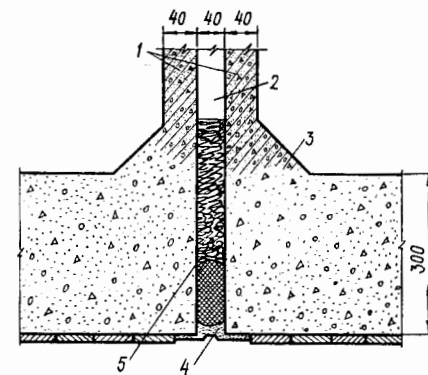


Рис. 22. Стык двойных перегородок в объемно-блочных зданиях типа БК-4:  
1 — железобетонные стены блок-комнаты (бетон М200); 2 — воздушный промежуток; 3 — керамзитобетон М150 ( $\gamma=1250$  кг/м<sup>3</sup>); 4 — цементный раствор М100; 5 — минеральный войлок.

обратить количество стыков и уменьшить косвенную звукопередачу по прилегающим конструкциям [20]. Устройство в вертикальных стыках между блоками упругих прокладок (при отсутствии других жестких соединительных элементов) в случае толщины стенок блоков не менее 40—50 мм из тяжелого бетона и воздушного промежутка 40—80 мм обеспечивает  $E_B = 0$  дБ (рис. 22).

Натурные измерения объемно-блочных зданий типа БК-4 в Бременчуге, Харькове, Киеве показали, что вследствие дефектов изготовления блоков и монтажа отдельные двойные перегородки часто имеют нестабильную звукоизоляцию. Кроме того, осуществление в полной степени акустическое разобщение блоков не всегда удается. Снижение звукоизоляции междуквартирных разобщенных перегородок может быть вызвано:

- уменьшением проектной толщины воздушного промежутка между блоками при монтаже;
- наличием контакта между стенками блоков через жесткие акустические мостики, образовавшиеся вследствие засорения воздушного промежутка или же соприкосновения стенок блоков;

некачественной заделкой отверстий для сантехнических коммуникаций и розеток в конструкциях перегородок и их размещением симметрично относительно друг друга;

отсутствием поэтажных диафрагм и плохой заделкой промежутка по периметру дверных проемов;

уменьшением проектной толщины стенок блоков.

Для обеспечения надежной звукоизоляции перегородок объемно-облочных зданий следует обеспечивать выполнение требований

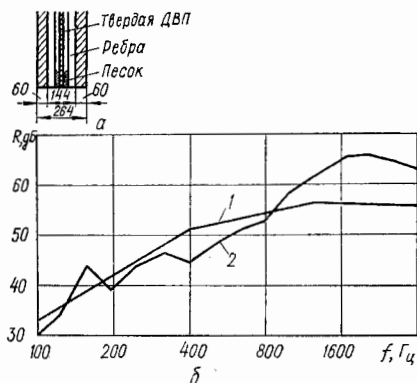


Рис. 23. Звукоизоляция междуквартирной перегородки ОБД со звукоизолирующей диафрагмой:

а — конструкция перегородки; б — частотная характеристика звукоизоляции; 1 — нормативная кривая; 2 — измеренная ( $E_B = 0$  дБ).

Увеличить потери звуковой энергии в воздушном промежутке двойного ограждения можно также введя слои упруго-вязкого материала, например типа вибродемпфирующих мастик. В этом случае перегородки типа «сэндвич» способны на высоких частотах к колебаниям сдвига, а не изгиба, вследствие чего граничная частота волнового совпадения смещается в область высоких частот. Такие перегородки широко применяются в судостроении и авиации. В строительстве их применение ограничено из-за большого расхода вибродемпфирующего материала, что значительно удорожает строительные конструкции.

Данная физическая предпосылка повышения звукоизоляции панелей применительно к строительным панелям из традиционных материалов использована при разработке звукоизоляционной панели, показанной на рис. 24. Панель\* состоит из наруж-

\* Авторское свидетельство на изобретение № 553337 «Звукоизоляционная панель». Автор Тимофеев Л. П. — «Бюллетень изобретений», № 13, 1974

ним плит и промежуточного слоя, выполненного из дискретно расположенных трапециевидных прокладок из упруго-вязкого материала, жестко соединенных с внутренней поверхностью наружных плит. Расстояние между прокладками

$$x_m = \frac{l_1}{2} \cdot \frac{2\lambda + 1}{m},$$

$$y_n = \frac{l_2}{2} \cdot \frac{2\lambda + 1}{n},$$

где  $x_m$  и  $y_n$  — соответственно расстояния между прокладками по длине и ширине панели;

$l_1$  и  $l_2$  — длина и ширина панели;

$\lambda$  — длина волны изгиба;

$m$  и  $n$  — целый ряд чисел от 1 до 20.

Наружные плиты соединяются между собой посредством промежуточного слоя из прокладок, размещенных в пучностях стоячих волн изгиба, т. е. в точках с максимальной колебательной скоростью. Для каждой формы колебаний поле стоячих изгибных волн в наружных плитах, определяемое количеством полуволн изгиба, укладываемых в плите в двух направлениях, можно представить в первом приближении как систему распределенных по поверхности масс, соединенных упруго-вязкими трапециевид-

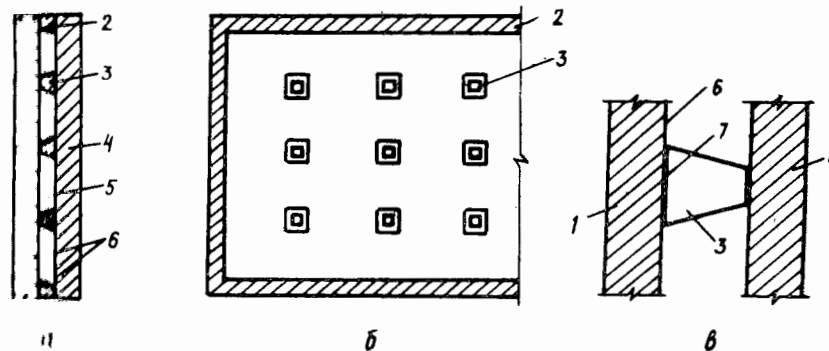


Рис. 24. Звукоизоляционная панель с промежуточным слоем из дискретных упруго-вязких прокладок:

а — поперечный разрез; б — продольный разрез; в — узел крепления прокладок; 1, 4 — наружные плиты; 2 — полосы упругого материала; 3 — прокладка; 5 — воздушные промежутки; 6 — внутренняя поверхность; 7 — клеящая прослойка.

ными прокладками в пучностях стоячих волн. По периметру плиты соединены сплошным слоем упругого материала, что исключает образование между ними жестких звуковых мостиков. В отличие от панелей типа «сэндвич» данная звукоизоляционная панель обеспечивает гораздо меньший расход упруго-вязкого материала (в 10—15 раз), что значительно повышает ее экономичес-

кую эффективность. Наиболее предпочтительна высота прокладок от 0,2 до 1,5 толщин наружных плит.

Для обеспечения повышенной звукоизоляции для защиты помещений от интенсивных шумов может быть использована строительная звукоизоляционная панель, показанная на рис. 25

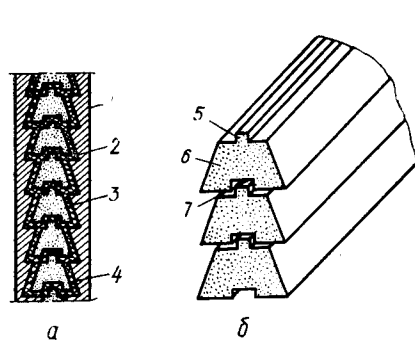


Рис. 25. Строительная звукоизоляционная панель повышенной эффективности:

а — поперечный разрез; б — диафрагма; 1 — наружный слой; 2 — выступы; 3 — диафрагма; 4 — упруго-вязкий битуминозный материал; 5 — продольный выступ; 6 — элемент; 7 — паз.

Наружные слои панели на внутренней поверхности имеют выступы, между слоями расположена диафрагма, составленная из отдельных, размещенных на некотором расстоянии друг от друга элементов трапециoidalного поперечного сечения. Проемы между элементами заполнены битуминозным материалом. На меньшем основании каждого элемента имеется выступ, размещенный в пазу, образованном на большом основании смежного с ним элемента. Тяжелая и гибкая диафрагма, отделенная от наружных слоев упруго-вязким материалом с высоким коэффициентом потерь (более 0,3), обеспечивает повышенную звукоизоляцию в широком диапазоне частот.

В качестве перегородки или стены в жилых или общественных зданиях с увеличенной звукоизоляцией ( $E_v > 0$  дБ) обычно используют конструкции с поверхностной плотностью более 400 кг/м<sup>2</sup>. Использование многослойных конструкций позволяет уменьшить этот вес. В институте Киевпроект разработана многослойная звукоизоляционная панель,\*\* в одной из наружных плит размещены массоэлементы, увеличивающие звук

\* Авторское свидетельство на изобретение № 293981 «Строительная звукоизоляционная панель». Авторы: Тимофеенко Л. П. и др. «Бюллетень изобретений», № 6, 1971.

\*\* Авторское свидетельство № 436137. «Бюллетень изобретений», № 2, 1974.

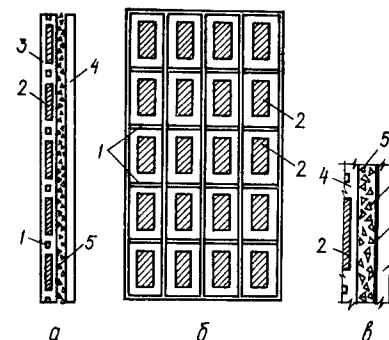


Рис. 26. Звукоизоляционная перегородка с массоэлементами:

а — поперечный разрез; б — продольный разрез; в — фрагмент среднего слоя; 1 — армирующий каркас; 2 — массоэлемент; 3, 4 — наружные плиты; 5 — блоки неправильной формы; 6 — битуминозный материал; 7 — упругий материал.

поглощению в области низких частот (рис. 26). Внутренний слой панели выполнен в виде полости, заполненной блоками неправильной формы, например из базальта, каждый из которых покрыт слоем битуминозного материала. На внутреннюю поверхность одной из наружных плит нанесен слой упругого материала. В качестве наружных плит могут быть использованы гипсобетонные панели, массоэлементами могут служить отходы керамического производства.

В области высоких частот повышения звукоизоляции ограждения можно добиться путем нанесения на ограждение слоя звукопоглощающего материала (в обычных бытовых условиях в качестве этого материала можно использовать ковры, обивку и т. п.).

Наиболее целесообразно размещение звукопоглощающего материала в помещении с источником шума, т. к. при этом уровень шума в нем снижается за счет поглощения отраженной звуковой энергии и в то же время повышается собственная звукоизоляция стены, разделяющей шумное и тихое помещение. Этот способ повышения звукоизоляции связан со сложностью устройства звукопоглощающей облицовки по готовой конструкции.

Песущие панели с данной облицовкой можно изготавливать в заводских условиях. Акустическая панель состоит из основания, например, железобетонного и звукопоглощающего материала, размещенного в образованных на лицевой поверхности панели пазах\*. Пазы могут быть трапециoidalной формы, обращены к лицевой поверхности суженной частью. Звукопоглощающий материал составляет не менее 60% площади лицевой поверхности, которая выполнена пористой, а тыльная сторона звукопоглощающего материала покрыта сублимирующим при температуре обработки (пропарки) материалом. Повышение звукоизоляции обеспечивается дополнительными потерями в звукопоглощающем материале.

Такая конструкция может быть выполнена на заводе при формовке железобетонной панели, что исключает трудоемкие работы на строительной площадке.

### Звукоизоляция перекрытий

В отличие от стен и перегородок междуэтажные перекрытия зданий должны обеспечивать надежную изоляцию не только от воздушного, но и от ударного шумов. Изоляцию от ударного шума обеспечивает обычно конструкция чистого пола, т. к. сама несущая часть перекрытия не обладает необходимыми качествами для изоляции ударных импульсов. В настоящее время в связи с тенденцией максимального облегчения конструкций перекрытий, снижения их материалоемкости и толщины обеспечить необходимую изоляцию перекрытий довольно затруднительно.

\* Авторское свидетельство № 340753. «Бюллетень изобретений», № 18, 1972.

В наибольшей степени обеспечивают требования по звукоизоляции хорошо выполненные плавающие полы. В качестве плавающей стяжки используются бетон, гипсобетонные плиты, армированные цементные панели, асфальт и т. д. Во многих типовых сериях жилых домов (1-480, БК-4 и др.) применяются плавающие панели из гипсобетонных панелей размером на комнату.

К категории плавающих полов также можно отнести различного типа дощатые полы, уложенные по лагам на упругих прокладках. Наиболее важным требованием при устройстве плавающих полов является полное устранение непосредственного жесткого контакта между стяжкой и несущими конструкциями здания. Звукоизоляционные качества перекрытий с плавающими полами зависят от веса стяжки, толщины и упругих свойств прокладочных материалов. Плавающие полы увеличивают звукоизоляцию от воздушного шума на 5—10, а от ударного — на 15—25 дБ. При использовании в качестве несущих перекрытий тонких панелей поверхностной плотностью 150—200 кг/м<sup>2</sup> применение плавающих полов является, очевидно, единственным способом обеспечения необходимой звукоизоляции. Особое внимание здесь следует обратить на мероприятия по обеспечению долговечности и упругих свойств прокладочных материалов [1, 5].

Приближенное определение показателя звукоизоляции перекрытий с плавающими полами дано в рекомендациях [2, 4, 10].

Акустическая эффективность этих полов в реальных условиях иногда оказывается ниже ожидаемой вследствие отклонений от проектных решений при выполнении строительного-монтажных работ, низкого качества применяемых материалов, а также снижения упругих свойств прокладочных материалов.

Плавающие полы требуют особой тщательности проведения работ, относительно трудоемки в условиях строительной площадки и дорогостоящи. В большей мере отвечают требованиям массового индустриального жилищного строительства акустически однородные перекрытия с эффективными рулонными теплозвукоизоляционными покрытиями, которые обеспечивают требуемое улучшение звукоизоляции от ударного шума.

Наиболее трудно обеспечить звукоизоляцию таких перекрытий от воздушного шума. Вследствие возникновения резонансных колебаний в системе «верхний слой линолеума — упругая подоснова» наблюдаются резкие провалы в частотной характеристике звукоизоляции перекрытия на частоте резонансов, которые снижают показатель звукоизоляции на 2—4 дБ. Поэтому акустически однородные перекрытия с теплозвукоизоляционным линолеумом, как правило, не обеспечивают нормативную звукоизоляцию от воздушного шума.

Устранить этот недостаток можно путем внесения в указанную резонансную систему добавочных активных потерь, например устройства дополнительного слоя упруго-вязкого материала. Например, при изготовлении звукоизоляционных слоистых конструк-

ций можно предусматривать укладку на бетонное основание на несущей части перекрытия звукоизоляционного слоя из упруго-вязкого материала, имеющего коэффициент потерь не менее 0,03 и динамический модуль упругости не более динамического модуля упругости основания. Затем по этому слою укладывается теплозвукоизоляционный линолеум.

Для увеличения коэффициента потерь в упруговязкий слой добавляют легкий наполнитель и пластифицирующие добавки, например дибутилфталат. Этот слой может быть выполнен в виде плиточных листов, приклеиваемых к бетонному основанию, или же в виде жидких покрытий, например на основе поливинилацетатных эмульсий.

В качестве такого покрытия может быть использована звукоизоляционная мастика\* на базе традиционных строительных материалов. Мастика включает следующие компоненты, вес. ч: песок 1,5—3; цемент 1,0—1,5; поливинилацетатная эмульсия 0,1—0,3; минерализированные древесные опилки 0,1—0,3.

Для определения коэффициента потерь мастики были проведены испытания резонансным способом по стандартной методике образцов размером 7×7×21 см. Коэффициент потерь составил 0,07—0,08, что по сравнению с бетоном ( $\eta = 5 \cdot 10^{-3}$ ) обеспечивает повышенные потери акустической энергии. Указанный состав обеспечивает получение прочного основания под полы (прочность на сжатие около 100 кг/см<sup>2</sup>) без дополнительного его усиления.

Показатель звукоизоляции перекрытия от ударного шума составил  $E_y = +6$  дБ, от воздушного —  $E_v = 0$  дБ.

Аналогичные результаты были получены и в натуральных условиях (здание типа БК-9, Киев).

В качестве изоляционной демпфирующей стяжки, устраиваемой по несущей части перекрытия, например из многопустотных плит толщиной 22 см, может быть также использована звукоизоляционная мастика следующего состава вес. ч\*\*: портландцемент 1—2; песок 0,5—2; резиновая крошка с волокнистым наполнителем 0,1—0,5; асбест 0,1—0,8.

Мастика характеризуется повышенной прочностью и удобоукладываемостью как в заводских, так и в построечных условиях. Как показали исследования, перекрытия со слоем данной стяжки толщиной 30—35 мм и покрытием чистого пола из паркетных плит обеспечивают звукоизоляцию  $E_v = +2$  дБ,  $E_y = +3$  дБ. Расчетный годовой экономический эффект при использовании данной демпфирующей стяжки только по Главкиевгорстрою составляет 340 тыс. руб.

\* Авторское свидетельство № 505615. «Бюллетень изобретений», № 9, 1976.

\*\* Авторское свидетельство № 547433. — «Бюллетень изобретений», № 7, 1977.

Институтами Киевпроект и НИИСК Госстроя СССР разработаны и исследованы конструкции междуэтажных панелей перекрытий с вкладышами. Панели содержат часторебристую панель пола с ребрами, обращенными вниз и расположенными во взаимно перпендикулярном направлении. Вкладыши из различных материалов (керамика, гипсобетон, минераловатные плиты), покрытые слоем упруго-вязкого материала, размещены в теле панелей и не имеют жесткого контакта с плитой перекрытия.

На рис. 27, 28 представлены схема данного перекрытия\* и частотные характеристики звукоизоляции, полученные в лабора-

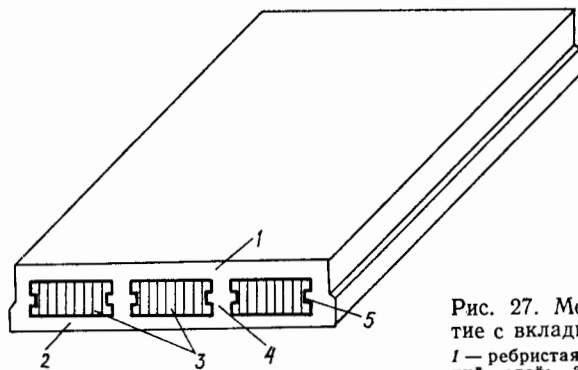


Рис. 27. Междуэтажное перекрытие с вкладышами:  
1 — ребристая панель пола; 2 — нижний слой; 3 — вкладыши; 4 — ребра; 5 — вибродемпфирующее покрытие.

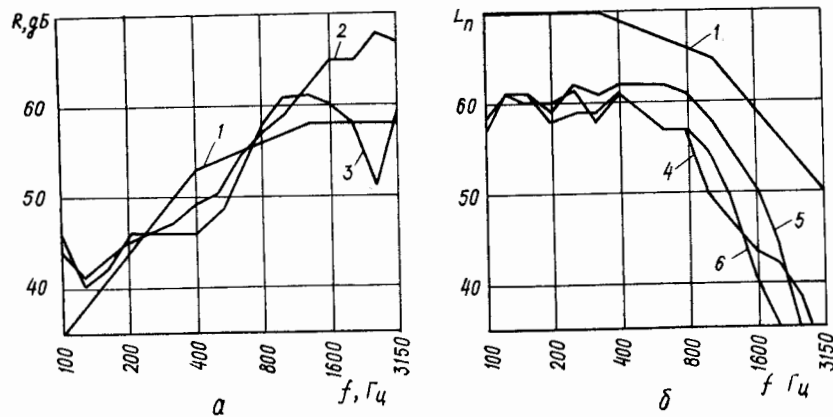


Рис. 28. Частотные характеристики звукоизоляции перекрытия с керамическими вкладышами от воздушного (а) и ударного (б) шума:

1 — нормативная кривая; 2 — перекрытие без пола ( $E_B = +2$  дБ); 3 — то же, с теплым линолеумом на секстре по цементной стяжке толщиной 2 см ( $E_B = 0$  дБ); 4 — линолеум на секстре по перекрытию ( $E_y = +12$  дБ); 5 — линолеум на войлочной основе ( $E_y = +10$  дБ); 6 — паркет на битумной мастике ( $E_y = +9$  дБ).

\* Авторское свидетельство № 572554. — «Бюллетень изобретений», № 36, 1977.

торных условиях. Измерения подтвердили эффект ухудшения звукоизолирующих качеств перекрытий от воздушного шума при укладке рулонного пола на теплой подкладке (войлок, секстра) непосредственно по несущей панели перекрытия без приклейки. Вследствие возникновения резонансных явлений и наличия воздушных линз между линолеумом и несущей плитой наблюдается снижение показателя звукоизоляции на 2—5 дБ.

С точки зрения выбора оптимальных технико-экономических показателей наиболее предпочтительными следует считать перекрытия с гипсобетонными вкладышами ( $E_B = 0$  дБ) при поверхностной плотности 300 кг/м<sup>2</sup>.

В некоторых случаях повысить звукоизоляцию междуэтажных перекрытий можно путем устройства подшивного потолка. Акустическим требованием при этом является устранение непосредственной связи гибкой подшивки и несущих конструкций здания. Часто на практике в результате наличия косвенных путей передачи звука расчетная эффективность этих потолков резко снижается.

При устройстве подшивных потолков появляется возможность значительно снизить массу перекрытия, обеспечивая необходимую звукоизоляцию от воздушного и ударного шума. По данным МИИТа, подшивные потолки увеличивают звукоизоляцию плиты перекрытия от воздушного шума в среднем на 7—8, от ударного — на 10—15 дБ. При достаточной звукоизоляции несущей плиты перекрытия подшивной потолок должен иметь минимальную изгибную жесткость — это позволяет снизить массу междуэтажного перекрытия в 1,5 раза.

Применение подшивных потолков позволяет значительно снизить требования к выполнению плавающих полов, так как в этом случае можно ограничиться укладкой рулонного пола на теплозвукоизоляционной подкладке.

Подшивные потолки наиболее целесообразны для встречных шумных помещений: кафе, ресторанов, магазинов, ателье и т. п. Для обеспечения особо высокой звукоизоляции между подшивным потолком и несущей плитой перекрытия можно размещать звукопоглощающие материалы, например, маты из минераловатных плит, стекловолокна, очесов и т. п.

Высокая эффективность звукоизоляции помещений достигается при использовании подшивных потолков в сочетании с гибкой обшивкой на отnose по стенам изолируемого помещения и плавающими полами. При этом удается существенно снизить косвенную звукопередачу по прилегающим конструкциям и излучаемую ими звуковую энергию. Для достижения нормативной звукоизолирующей способности ( $E_B = 10$  дБ) это является одним из наиболее приемлемых конструктивных решений.

В Киевпроекте разработаны перекрытия с повышенной звукоизолирующей способностью, предназначенные для защиты помещений от шума встроенных шумных предприятий.



На рис. 29 представлена комплексная панель перекрытия, установленная в жилом здании серии 1-КГ-480-45 между шумными и жилыми помещениями [22]. Наружные плиты имеют различную цилиндрическую жесткость при изгибе и соответственно различные частоты волнового совпадения, а в промежутке между ними размещена специальная звукоизоляционная диафрагма. В зависимости от конкретных условий эксплуатации и частотных ха-

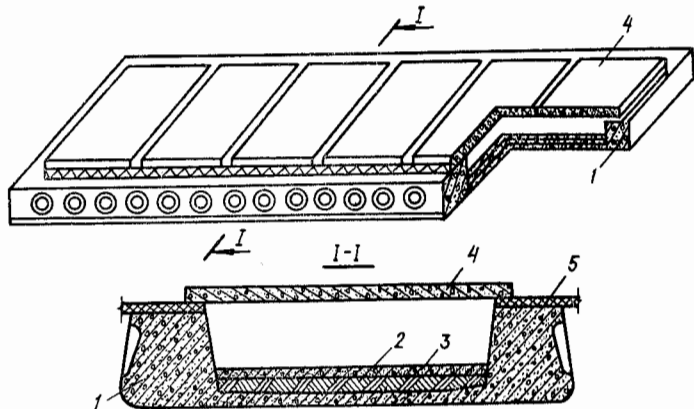


Рис. 29. Конструкция междуэтажных несущих панелей перекрытия зданий с повышенными требованиями по звукоизоляции:  
1 — ребристая панель; 2 — упруговязкий наполнитель; 3 — диафрагма; 4 — плоская плита покрытия; 5 — упругие прокладки.

рактеристик шума предложены различные решения диафрагмы и вибродемпфирующего промежуточного слоя, в том числе из традиционных строительных материалов (армоцемент, песок, глина и т. п.) Например, для объектов, где требуемая звукоизоляция перекрытия не ниже  $E_b = +3$  дБ, в качестве наполнителя используется мондмориллонитовая глина, которая при определенном количестве влаги обеспечивает пластичность и длительное время не изменяет своих свойств. На рис. 30 показана величина измеренной в натуральных условиях по стандартной методике звукоизоляции перекрытия, которая составила  $E_b = +3$  дБ,  $E_y = +6$  дБ.

Для повышения звукоизоляции перекрытий важным является уменьшение энергии звуковых вибраций, передаваемых через опорный стык на прилегающие стены. Решение опорных узлов с использованием упругих прокладок неэффективно из-за их обжатия и быстрого старения. Уменьшить косвенную звукопередачу можно путем выполнения перекрытия с фигурным опорным контуром, частично замоноличенным в тело плиты. Фигурный опор-

ный контур выполняется гофрированным, а его наружная поверхность покрывается изоляционным материалом, например битумом\* (рис. 31). Пространство между выступающими гофрами заполняется звукоизоляционным материалом. Вследствие того, что опирание плиты перекрытия происходит без эксцентриситета, в опорном узле не возникают изгибающие моменты и

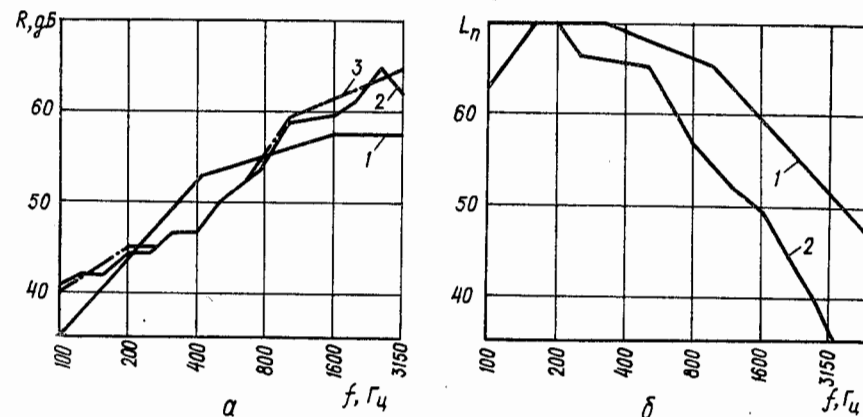


Рис. 30. Частотные характеристики звукоизоляции от воздушного (а) и ударного шумов (б) перекрытия с повышенными требованиями звукоизоляции: 1 — нормативная кривая; 2, 3 — измеренные.

трансформация продольных волн в изгибные (в стене) не наблюдается. В качестве опорного контура можно использовать не только металлические листы, но и соответствующим образом профилированную опорную поверхность плиты из высокопрочного бетона.

Для обеспечения необходимой звукоизоляции от воздушного шума несущей панелью междуэтажного перекрытия можно использовать отдельные двойные конструкции перекрытий (аналогично двойным раздельным перегородкам).

В настоящее время раздельные панели перекрытий используются в основном в объемноблочных зданиях. Наиболее высокую звукоизоляцию, удовлетворяющую требованиям СНиП II-Л. 1-71, обеспечили перекрытия в объемноблочных зданиях типа БК-4 (Кременчуг). Раздельное перекрытие, образованное панелью потолка нижележащего блока и панелью вышележащего блока, содержит гипсопрокатную панель пола на упругих про-

\* Авторское свидетельство на изобретение № 436136 «Звукоизоляционная плита перекрытия». Авторы: Тимофеев Л. П., Гостомельский И. Р. «Бюллетень изобретений», № 26, 1974.

кладках (рис. 32). Показатель звукоизоляции таких перекрытий (при качественном выполнении работ) составляет  $E_v = 0$  дБ.

На звукоизоляцию отдельных перекрытий большое влияние оказывают условия их сопряжения. В лабораторных условиях

были исследованы различные варианты опирания верхней плиты пола на нижнюю [23].

Наиболее интенсивная передача звуковой энергии имеет место при опирании по периметру, особенно на средних и высоких частотах. При конструировании и расчете предпочтительно, с точки зрения звукоизоляции, принимать конструктивную схему здания с опиранием блоков по четырем углам, что дает по сравнению с опиранием по периметру улучшение звукоизоляции от ударного шума на 5—8 дБ.

Величина звукоизоляции отдельного перекрытия от воздушного шума в меньшей степени зависит от условия опирания. Величина звукоизоляции от ударного шума прямо пропорционально зависит от площади опирания, причем эта зависимость имеет место до предела, определяемого для линейного контакта как  $3/4$  площади опирания по периметру.

Порядок размещения в воздушном промежутке отдельного перекрытия слоя звукопоглощающего материала, как показали лабораторные и натурные измерения, незначительно влияет на

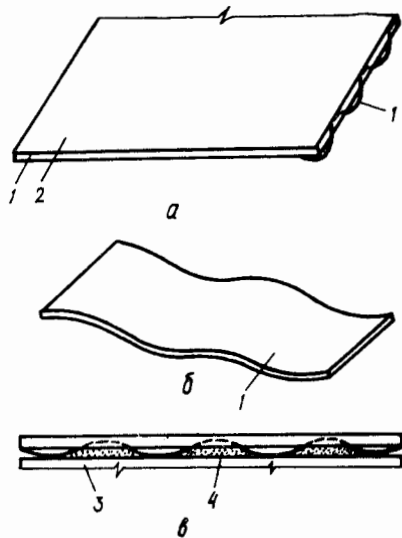


Рис. 31. Плита перекрытия с фигурным опорным контуром:  
а — общий вид; б — фрагмент опорного контура; в — опирание перекрытия на стену; 1 — опорный контур; 2 — плита; 3 — опорная площадка; 4 — звукоизоляционный материал.

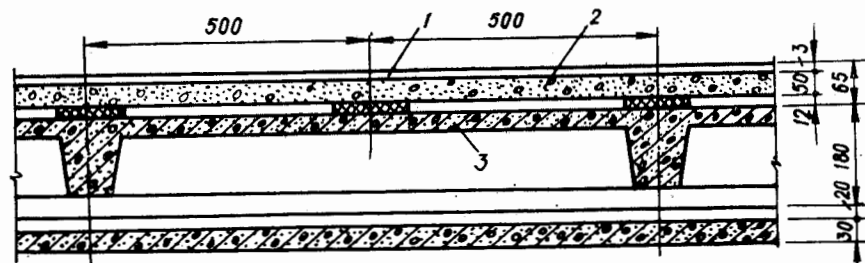


Рис. 32. Конструкция отдельного перекрытия в объемно-блочных зданиях типа БК-4:

1 — линолеум на мастике; 2 — гипсобетонная, асбестобетонная, арболитовая или из других возможных материалов панель на упругих подкладках из древесноволокнистых плит; 3 — железобетонная плита панели пола.

звукоизоляцию от воздушного и ударного шума. Гораздо более эффективным является акустическое разобщение составляющих плит перекрытия посредством прокладок с высокими потерями (например, свинец, асбокартон) или же с повышенной упругостью. По данным исследований, использование прокладок из свинца повышает звукоизолирующую способность перекрытий ОБД на 3—5 дБ.

### Звукоизоляция окон и дверей

Звукоизолирующая способность окон и дверей, как правило, значительно ниже других вертикальных ограждающих конструкций здания, например стен и перегородок. Это объясняется тем, что их поверхностная плотность намного меньше, чем примыкающих стен. Кроме того, неудовлетворительная подгонка переплетов окон и полотен дверей к коробкам, нарушение герметичности в результате старения прокладок и коробления столярных изделий ведут к образованию отверстий, щелей и трещин, что ухудшает звукоизоляцию помещений.

Звукоизоляция стены, в которой размещено окно или дверь, может быть определена по известным значениям звукоизоляции отдельных ее элементов [2].

Для эффективной защиты помещений от внешних шумов необходимо выполнять все мероприятия по звукоизоляции окон.

Повышения звукоизоляции окон можно достичь увеличением толщины воздушного промежутка между стеклами, применением более качественной герметизации окна и балконной двери с помощью упругих прокладок, размещением звукопоглощающего материала по периметру воздушного промежутка между переплетами окна, увеличением поверхностной плотности стекол, их толщины, использованием стекол разной толщины.

Для повышения герметизации окон стекла целесообразно устанавливать не на замазке, а на герметизирующей мастике, неопределенном профиле и т. п. Следует также повысить качество изготовления элементов окна, надежность затворов с тем, чтобы обеспечить обжатие прокладок по всему контуру на величину от 50 до 75% (при толщине уплотняющей прокладки 10 мм толщина зазора в притворах должна составлять  $4 \pm 1$  мм). Притворы окон с повышенной звукоизоляцией следует уплотнять пенополиуретановыми прокладками (ГОСТ 10174—72).

В качестве звукопоглощающих материалов могут использоваться минераловатные или стекловолоконные плиты на синтетическом связующем толщиной не менее 30 мм, закрытые снаружи перфорированным листом из металла, пластмассы, древесноволокнистых плит и т. п.

Толщина воздушного промежутка между стеклами зависит от возможности устройства слива снаружи и подоконника внутри помещения.



Стекла разной толщины целесообразно применять в окнах со спаренными или отдельными переплетами при толщине воздушного промежутка не более 70 мм. Эффективность применения стекол разной толщины составляет +1,7 дБ. При большей толщине промежутка стабильного улучшения не наблюдается и даже имеются случаи снижения звукоизоляции.

В табл. 9 приведены частотные характеристики звукоизолирующей способности различных конструкций окон и ограждений, в которых они устанавливаются (измерения выполнены в ЦНИИЭПжилища).

Таблица 9. Показатели звукоизолирующей способности различных конструкций окон и ограждений, дБ (по данным ЦНИИЭПжилища)

Конструкция	Среднегеометрические частоты октавных полос							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Окна:								
со стеклом толщиной 3 мм с одной створкой, открытой на 6,4 мм	—	15	13	17	20	17,6	23	—
со стеклом толщиной 3 мм с вентилятором диаметром 152 мм (жалюзи открыты)	—	15	18,3	20,6	21,3	20	20	—
с двумя стеклами толщиной 3 мм с воздушным промежутком 170 мм без уплотняющих прокладок	22	27	26	28	30	28	27	—
с двумя стеклами толщиной 4 и 7 мм с воздушным промежутком 16 мм с уплотнением	—	18	29	32	42	40	47	—
с двумя стеклами толщиной 3 мм с воздушным промежутком 170 мм с уплотнением	27	33	33	36	38	38	38	—
с двумя стеклами толщиной 4 мм с воздушным промежутком 200 мм с уплотнением	—	28	36	41	48	54	56	—
с четырьмя стеклами толщиной 7 мм с общей толщиной воздушных промежутков 300 мм с уплотнением	—	38	42	46	51	53	57	—
Оштукатуренная с двух сторон кирпичная стенка:								
в 1/2 кирпича	32	39	40	42	48	54	60	60
в 1 кирпич	36	41	44	51	58	64	65	65
в 1 и 1/5 кирпича	41	44	48	55	61	65	65	65
в 2 кирпича	45	45	52	59	65	70	70	70

Створки окна должны быть выполнены так, чтобы обеспечивалось их плотное закрытие (рис. 33), например с использованием пенополиуретановых прокладок (ГОСТ 10174—72). Наличие полостей в притворе оказывает положительное влияние на звукоизоляцию, прямой сквозной стык имеет большую проникаемость. С точки зрения обеспечения надежности стыка, металлические переплеты более предпочтительны, чем деревянные — в

этой связи для обеспечения повышенной звукоизоляции окон целесообразно использовать стеклопакеты (изделия, состоящие из двух или более листов стекла с промежуточной замкнутой герметической полостью).

Наиболее высокая звукоизоляция стеклопакетов наблюдается при умеренных уровнях звукового давления в области высоких частот. При очень интенсивном шуме звукоизолирующая способность стеклопакетов уменьшается [24].

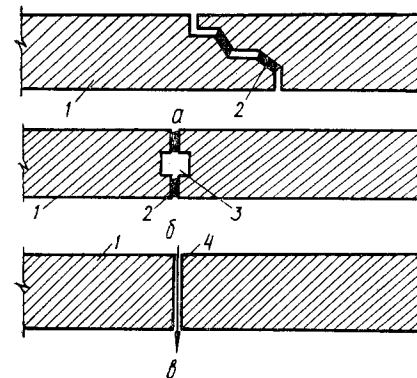


Рис. 33. Притворы оконной створки: а — профилированный притвор; б — притвор с расширительной полостью; в — притвор со сквозной щелью (неудовлетворительное решение); 1 — створка; 2 — уплотняющая прокладка; 3 — расширительная камера; 4 — сквозная щель.

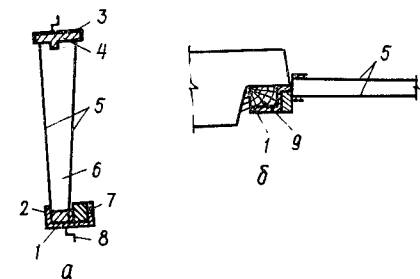


Рис. 34. Стеклопакет с повышенной звукоизолирующей способностью:

а — поперечный разрез; б — узел сопряжения с оконной коробкой; 1 — обрамляющая рамка; 2 — герметизирующая мастика; 3 — распорная рамка; 4 — герметизирующие прокладки; 5 — стекла; 6 — вакуумированный промежуток; 7 — прокладка; 8 — профилированный выступ; 9 — оконная коробка.

Как было сказано, звукоизолирующая способность ограждения изменяется в зависимости от угла падения звуковых волн. Наименьшая звукоизолирующая способность наблюдается при косом падении звуковой волны на стекло. Звукоизолирующая способность стеклопакетов улучшается при утолщении листов стекла, увеличении воздушной прослойки и применении стекол разной толщины. Так, фирма «Алко» (ФРГ) разработала окна системы «Алю», остекление которых состоит из стеклопакета «термопан» и одинарного стекла. Звукоизоляция такого окна составляет 45 дБ.

В настоящее время в нашей стране также разрабатываются стеклопакеты с высокой звукоизоляцией, например стеклопакет, предназначенный для повышения теплозвукоизоляции, содержащий, как минимум, два расположенных параллельно листа стекла, стальнойную распорную рамку между ними и обрамляющую рамку\*. В этом стеклопакете распорная рамка выполнена из

\* Авторское свидетельство на изобретение № 534425 «Стеклопакет». Авторы: Светлов А. Г., Тимофеев Л. П., Биевецкий Э. А. «Бюллетень изобретений», № 41, 1976.

пластин, имеющих скосы и соединенных между собой и с листами стекла пленкой из невысыхающей жидкости. Пластины установлены под прямым углом друг к другу, а скосы их полированы. В качестве жидкости используется минеральное масло или технический глицерин.

В условиях хорошо налаженного заводского производства и отработанной технологии выпуск стеклопакетов будет гораздо эффективнее, чем изготовление традиционных столярных блоков из древесины. Несмотря на несколько увеличенную стоимость, стеклопакеты обеспечивают лучший акустический комфорт в помещениях, более долговечны и надежны в эксплуатации.

Таблица 10. Зависимость звукоизоляции стеклопакета от угла падения звуковых волн

Толщина стекла в стеклопакетах, мм	Звукоизоляция, дБ, при угле падения, град		
	0	45	75
4	27	26	21
6,6	31	30	—
12	38	33	31

Автором совместно с О. Ю. Ивановым предложена конструкция стеклопакета с расположенными под углом относительно друг друга стеклами и металлической профилированной рамкой с выступами, например z-образной формы (рис. 34).

Предусмотрен вариант выполнения стеклопакета с вакуумированным промежуточным слоем. Такой стеклопакет обеспечивает устранение толщинных резонансов в промежуточном слое благодаря переменной толщине упругого слоя, а также ликвидацию обходных путей проникновения звуковой энергии непосредственно через стык стеклопакета с оконной коробкой. Этому же способствует повышение потерь на внутреннее трение по контуру стеклопакета. Угол падения звуковых волн на наружный лист стеклопакета вследствие его наклона будет приближаться к нормальному, что также увеличивает звукоизоляцию. Как видно из табл. 10, наибольшая звукоизоляция наблюдается при нормальном угле падения звуковой волны.

В последнее время в зарубежной практике все большее применение находят звукоизоляционные окна с повышенной звукоизоляцией, обеспечивающие одновременно надежную вентиляцию помещений. Такие окна, по сравнению с глухими (неоткрывающимися), которые требуют обязательного применения дорогостоящих кондиционерных установок, являются более доступными и экономичными.

Автором предложено устройство для естественной вентиляции помещений при закрытых окнах с повышенной акустической эффективностью. Повышенная акустическая эффективность в области низких и средних частот достигается тем, что канал, облицованный звукопоглощающим материалом, выполнен с расширительной камерой, в которой установлены с возможностью вращения навстречу один другому под действием воздушного потока

лопастные элементы, облицованные звукопоглощающим материалом (рис. 35). При отсутствии потока воздуха лопастные элементы выполнены с приводом. Расширительные камеры, в которых установлены лопастные элементы, способствуют реактивным потерям, обусловленным образованием волновой пробки. Устройство может быть выполнено в виде приставного шкафа или же закладываемого в тело наружной стеновой панели при ее формовке специального короба. Для регулирования потока воздуха канал закрывается подвижной или жалюзи.

На звукоизолирующую способность дверей (так же, как и окон) влияет поверхностная плотность дверного полотна и герметизация притворов. В качестве упругой прокладки используются мягкие сорта резины.

Средняя звукоизолирующая способность обычных одинарных дверей составляет 15—20 дБ. Дополнительное уплотнение по контуру позволяет повысить звукоизоляцию на 4—7 дБ. Нижний край двери целесообразно усиливать с помощью порога или фартука-волокуши из прорезиненной ткани или технического войлока. Порог обычно повышает звукоизоляцию двери, в особенности в сочетании с уплотняющей прокладкой. Для плотного закрывания дверей их следует снабжать затворами с защелкой.

Повышение собственной звукоизоляции дверного полотна обычно достигается использованием многослойных конструкций с различным заполнением промежуточного слоя. Средняя звукоизолирующая способность таких дверей на 10—15 дБ выше, чем одинарных такой же поверхностной плотности и конструкции. При необходимости обеспечения высокой звукоизоляции дверного полотна следует применять двери улучшенной конструкции с заполнением промежуточного слоя песком. Заполнение промежутка звукопоглощающим материалом дает обычно меньший эффект.

При конструировании дверей остаются в силе те же требования, которые были изложены для многослойных стен и перегородо-

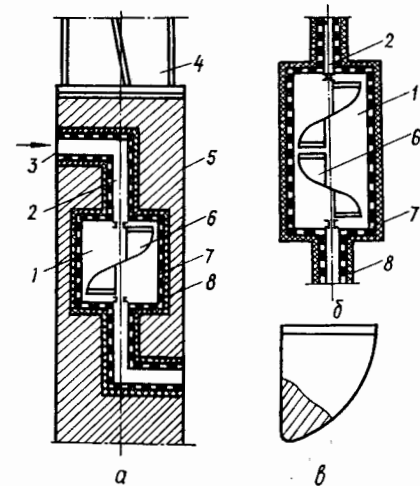


Рис. 35. Звукоизолирующее окно с устройством для естественной вентиляции:

а — разрез по стеновой панели; б — расширительная камера; в — часть лопасти; 1 — расширительная камера; 2 — канал; 3 — жалюзи; 4 — окно; 5 — стеновая панель; 6 — лопастные элементы; 7 — звукопоглощающий материал; 8 — перфорированный металлический лист.

док. В случае применения легких полотен весьма важным является увеличение значения граничной частоты волнового совпадения путем повышения гибкости обшивки. Для таких обшивок можно рекомендовать клееную фанеру, древесно-стружечные плиты.

При необходимости повышенной звукоизоляции двери, для защиты помещения от очень шумных источников или в зданиях специального назначения следует значительно увеличивать жесткость дверных полотен.

В случае применения для обшивки стальных листов следует приварить по всей площади полотна ребра жесткости, расположенные во взаимно перпендикулярном направлении. Пространство между обшивками стальных листов рекомендуется заполнять песком.

Положительный эффект также дает покрытие внутренней поверхности обшивки вибродемпфирующим материалом, в качестве которого в простейшем случае может быть использован песок, пропитанный битуминозным вяжущим.

Рекомендуется также устраивать двери с тамбуром, причем тамбур целесообразно покрыть звукопоглощающим материалом. Такое решение при качественном выполнении дверей может обеспечить среднюю звукоизолирующую способность более 50 дБ.

Повышению звукоизоляции дверей и окон способствует установка их в глубокой нише с наружной стороны. В этом случае окно или дверь не будут находиться под воздействием касательных звуковых волн, что повышает, как было сказано выше, их звукоизоляцию. Такое размещение дверей целесообразно, в частности в коридорах общежитий, больниц, других общественных и административных зданий. Размещение окон в нишах позволяет также улучшить их защиту от атмосферных осадков и уменьшить передачу шума из одной квартиры в другую.

В объемноблочных жилых зданиях неправильная установка двери в межкомнатных двойных перегородках часто является причиной ухудшения звукоизоляции перекрытий. Часто пространство между блоками по периметру дверного проема заделывается неудовлетворительно или вообще не заделывается, а только прикрывается дверной коробкой. Необходимо также принимать меры, чтобы дверная коробка не служила акустическим мостиком между панелями двойного ограждения. По периметру дверного проема промежутки следует заделывать паклей, смоченной алебастровым раствором на глубину 60—100 мм (см. рис. 22).

Звукоизоляция жилых комнат от коридоров, лестниц, холлов в значительной степени зависит от конструкции входных дверей в квартиру. Согласно ГОСТ 6629—74 эти двери должны иметь плотно со сплошным реечным заполнением; порог и уплотнение притвора по всему контуру должны быть заделаны пенополиуретановым шнуром.

## Снижение косвенной звукопередачи

Обеспечить благоприятный акустический режим в современных зданиях невозможно без устранения косвенной (не через разделяющее ограждение) передачи звуковой энергии.

Рассматривая вопросы акустического комфорта в современных зданиях, до последнего времени учитывали лишь собственную звукоизоляцию конструкций перекрытий и перегородок, которые отделяют помещение с источником шума от изолируемого помещения.

Проведенные исследования [5, 9, 10] показали, что для правильного решения вопросов звукоизоляции помещений необходимо учитывать и косвенные пути передачи звука на основе изучения закономерностей распространения звуковых вибраций по ограждающим конструкциям здания.

Уменьшить косвенную звукопередачу в зданиях можно лишь применением комплекса мероприятий по ограничению распространения волн изгиба. Расчет косвенной звукопередачи сводится к определению коэффициентов передачи вибрации, которые определяются как отношение средних квадратичных колебательных скоростей рассматриваемого ограждения и примыкающего к нему. Методика определения коэффициентов вибропередачи и их расчет описаны в [18].

Шумовой режим в помещениях, удаленных от комнаты с источником шума, создается, в основном, звуковыми вибрациями, распространяющимися по ограждающим конструкциям. Уровни вибрации ограждений различаются в зависимости от их массы, жесткости материала, из которого они выполнены, и частоты. Наибольшее снижение передачи наблюдается при изменении характеристики упругости материала. Снижение уровня вибрации конструкций по мере удаления от источника шума определяется такими основными факторами: затуханием звуковой энергии в материале конструкции вследствие внутренних потерь; звукоотражающими свойствами стыков конструкции; пространственным распространением звуковой энергии.

Наибольшее падение уровня вибрации наблюдается в стыках конструкций, при этом кривые затухания имеют значительную частотную зависимость. Наибольший спад наблюдается на высоких частотах, причем в этом случае направление передачи вибрации не имеет большого значения. Резко снижаясь при прохождении через первые стыки, затухание звуковых вибраций в дальнейшем уменьшается. Величина снижения вибрации в стыках колеблется в широких пределах и определяется массой единицы площади сопрягаемых элементов, площадью срединения и наличием прокладок, а также качеством строительно-монтажных работ. На низких частотах затухание вибраций значительно меньше, чем на средних и высоких частотах.

Экспериментально снижение вибрации в стыке можно определить по формуле

$$S = 20 \lg \frac{v_1}{v_2},$$

где  $v_1$  — колебательная скорость, усредненная по площади конструкции, до стыка;

$v_2$  — то же, после стыка.

Звукоизоляцию стыка  $S$ , соответствующую показателю звукоизоляции разделяющей конструкции, можно определить [26] по формуле

$$S \geq (E_{в1} - E_{в2}) + 6 \text{ дБ},$$

где  $E_{в1}$  — показатель звукоизоляции от воздушного шума разделяющей конструкции;

$E_{в2}$  — то же, примыкающей конструкции.

Например, показатель звукоизоляции междуквартирной перегородки от воздушного шума равен  $E_{в} = +5$  дБ, а показатель звукоизоляции легкой продольной стены  $E_{в} = -3$  дБ. При разнице показателей звукоизоляции 8 дБ звукоизоляция стыка должна быть  $S \geq 8 + 6 = 14$  дБ.

Для некоторых наиболее часто встречающихся в строительной практике узлов сопряжений традиционных строительных конструкций (рис. 36) измерены величины затухания вибрации на стык [26]. Как видно из представленных схем, величина затухания зависит от направления распространения вибрации.

Звуковое поле как в смежных, так и удаленных от источника шума помещениях образуется благодаря излучению звука колеблющимися ограждениями, причем для смежных помещений определяющим является колебание разделяющих конструкций. В удаленных помещениях мощность звукового поля определяется энергетической суммой мощностей, излучаемых всеми вибрирующими ограждениями, но основной удельный вес занимают тонкостенные перегородки или потолки в зависимости от величины их цилиндрической жесткости и массы.

Уменьшение передачи звуковой энергии по конструкциям происходит очень эффективно при наличии разрывов в конструкциях, которые целесообразно заполнять упругим материалом. Падение вибрации в стыках, например в зданиях из объемных блоков, может достичь 20—30 дБ благодаря возможности акустического разобщения блок-комнат. В крупнопанельных зданиях эта возможность значительно меньше, так как устройство жестких стыков и сопряжений строительных конструкций диктуется прежде всего необходимостью обеспечения пространственной жесткости и прочности здания [27, 28]. На рис. 37 приведены результаты измерения затухания звуковой вибрации в стыках объемноблочных зданий, полученные при исследовании на моделях.

Можно выделить четыре основных способа уменьшения косвенной звукопередачи: увеличение поверхностной плотности всех па-

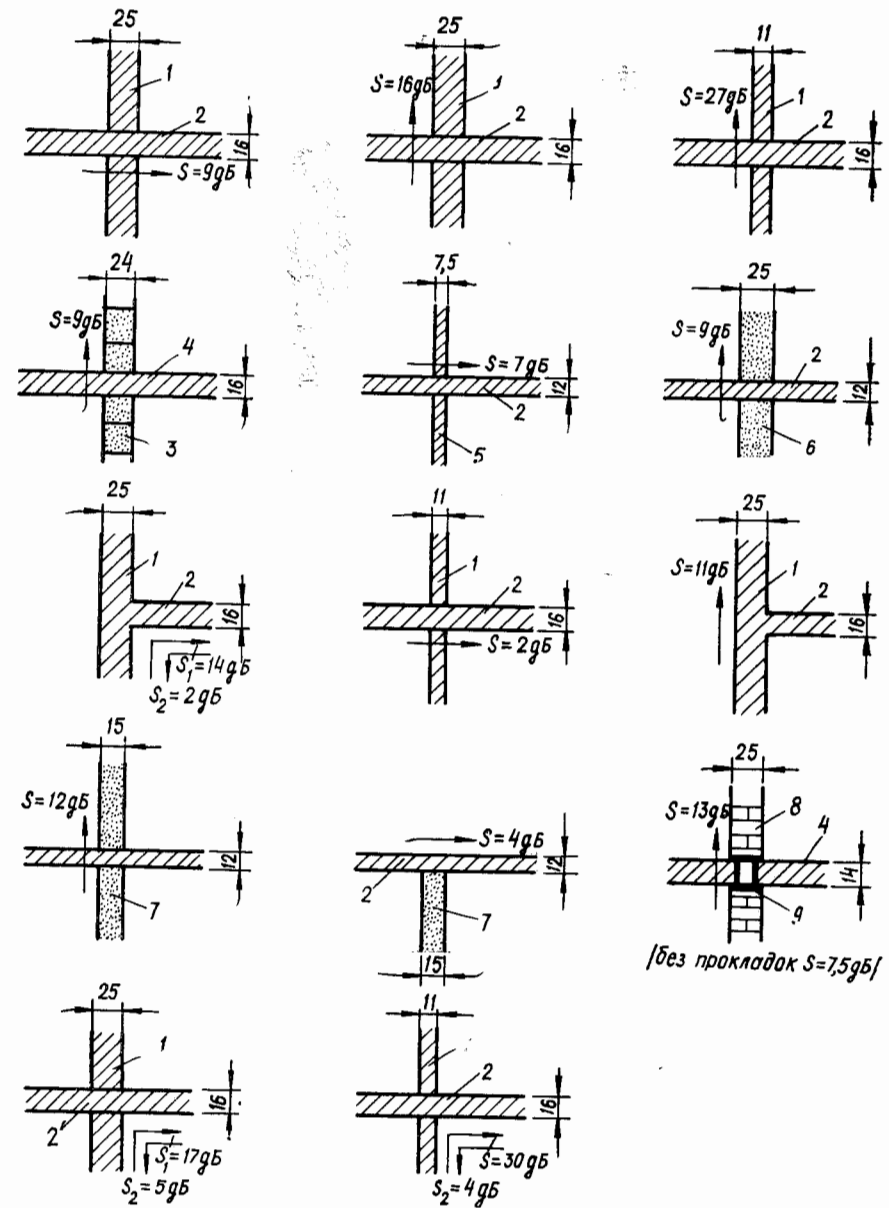


Рис. 36. Затухание вибрации в стыках для различных конструктивных узлов традиционных зданий:

1 — пемзобетонная стена; 2 — железобетонное перекрытие; 3 — стена из пустотных бетонных блоков; 4 — пустотное перекрытие; 5 — стена из тяжелого бетона; 6 — стена из уплотненного бетона; 7 — стена из пористого бетона; 8 — кирпичная стена; 9 — мягкая древесно-волокнистая плита.

нелей перекрытий и стен до  $400 \text{ кг/м}^2$ ; увеличение затухания вибрации в стыках путем введения материала со значительно меньшим модулем упругости ( $E < 5 \cdot 10^4 \text{ Н/см}^2$ ); повышение потерь колебательной энергии в конструкциях, выполненных из материалов с высоким коэффициентом потерь; устройство подшивных потолков и обшивок на отnose.

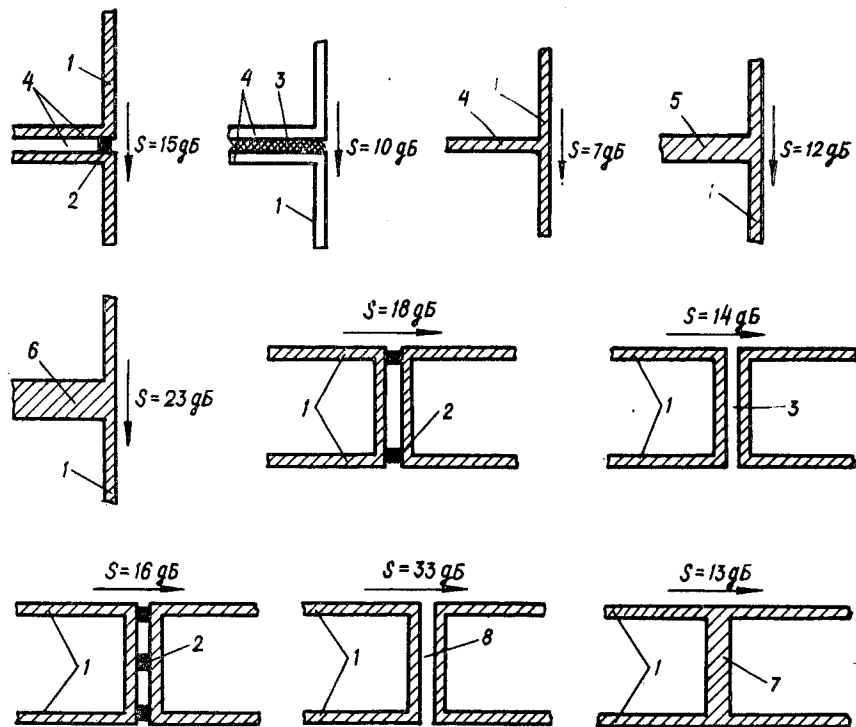


Рис. 37. Затухание вибрации в стыках объемноблочных зданий:

1 — железобетонные стенки блоков толщиной 2 см; 2 — подушка из цементного раствора; 3 — заделка конопаткой с последующей затиркой цементным раствором; 4 — перекрытие толщиной 2 см; 5 — то же, 4 см; 6 — то же, 8 см; 7 — перегородки толщиной 4 см; 8 — воздушный промежуток 2 см.

Звуковая вибрация, которая преобразовывается в воздушный шум, воспринимаемый человеком, наиболее опасна. Обычно в современных зданиях такую вибрацию создают различные механические удары или непосредственные воздействия на несущие конструкции. Устранение возникающих при этом шумов можно обеспечить мерами, которые были названы выше, — эффективные плавающие полы, подвесные потолки, гибкие обшивки на отnose. Особенно эффективны последние — они позволяют снизить интенсивность излучения звуковой энергии ограждающими конструкциями.

Для крупнопанельных зданий из однородных железобетонных панелей (например, типовые серии 49, 57, 134, 96 и др.), а также объемноблочных зданий сопряжение конструктивных элементов целесообразно производить с помощью упругих материалов, способных выдерживать большие нагрузки и не изменяющих под их воздействием упругих свойств (свинец, асбокартон, некоторые виды специальных пластмасс, стеклоруберойд в 3—4 слоя, руберойд прокладочный в 2—3 слоя, картон термошумоизоляционный в 2—3 слоя и т. д.).

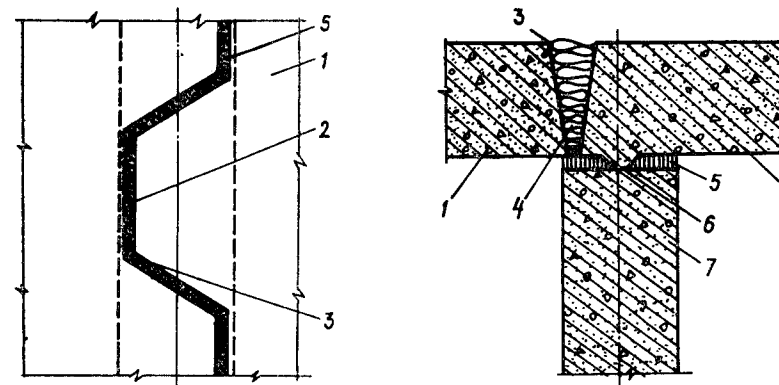


Рис. 38. Сопряжение панелей перекрытий и стен без эксцентриситета:

1 — перекрытие; 2 — паз; 3 — выступ; 4 — упругая прокладка; 5 — раствор; 6 — прилив; 7 — стена.

При проектировании и строительстве крупнопанельных зданий следует стремиться к уменьшению эксцентриситета в узле опирания панели перекрытия на панель стены (техническая реализация этого условия представлена на рис. 38). Опорная часть перекрытия содержит чередующиеся трапециевидные пазы и выступы, причем на нижней поверхности выступов образованы приливы, а срезы выступов и пазов наклонены соответственно под углом не более  $15^\circ$ . В промежутке между выступами установлены с распором упругие прокладки конического сечения. Приливы на нижней поверхности выступов размещены таким образом, что опирание перекрытия на стену происходит через приливы по линии, совпадающей с геометрической осью опорной площадки без эксцентриситета.

Косвенная передача звуковой энергии как по прилегающим конструкциям, так и обходными путями (через щели, неплотности, плохо заделанные отверстия) снижает показатель звукоизоляции конструкции на 3—10 дБ, причем на высоких частотах она может составить 12—19, а на низких — 3—10 дБ.

По данным МНИИТЭП, в случае опирания перекрытий на несущие панели внутренних стен через упругие прокладки из асбокартона толщиной 6,5 мм звукоизоляция повышается на 2 дБ.



При уменьшении толщины стены и, следовательно, ее цилиндрической жесткости происходит снижение звукоизоляции перекрытия. Поэтому при проектировании зданий предпочтение следует отдавать тому конструктивному варианту зданий, где обеспечивается повышение толщины стен относительно перекрытий.

В натуральных условиях наблюдается отток звуковой энергии от разделяющего ограждения к примыкающим, что в некоторой степени повышает собственную звукоизоляцию разделяющего ограждения, увеличивая одновременную косвенную звукопередачу. Отсюда следует вывод о чрезвычайной важности проведения комплекса конструктивных мероприятий при проектировании и строительстве зданий по снижению косвенной звукопередачи.

### **СНИЖЕНИЕ ШУМА ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

#### **Вентиляционные системы**

Современные здания характеризуются насыщенностью различного рода вентиляционными установками, которые являются интенсивными источниками воздушного шума и звуковых вибраций. Для обеспечения нормативного шумового режима в помещениях необходимо предусматривать мероприятия по снижению передаваемой звуковой энергии. Пути распространения звуковой энергии, возбуждаемой вентиляторами, разнообразны: воздушный шум, распространяющийся по вентиляционным каналам и воздуховодам от вентилятора; структурный шум, распространяющийся по строительным конструкциям; аэродинамический шум, генерируемый в элементах воздуховодов при больших скоростях воздуха (повороты, тройники, диафрагмы, шиберы, плафоны и т. д.).

Для правильного выбора мероприятий по снижению шума вентиляционных установок следует, прежде всего, знать октавные уровни звуковой мощности в диапазоне 63—8000 Гц. Эти характеристики должны в соответствии с ГОСТ 8. 055—73 приводиться в паспортах установок.

Акустический расчет вентиляционных систем следует производить с учетом рекомендаций [2, 29]. При акустическом расчете центральной установки вентиляции, кондиционирования воздуха и воздушного отопления следует рассматривать наиболее короткую ветвь. Отдельно производится расчет отопительно-вентиляционных агрегатов, воздушных завес, местных отсосов, ветвей, выходящих в атмосферу, а также элементов воздуховодов, генерирующих шум.

Улучшение акустического режима в помещениях зданий при работе вентиляционных устройств может быть обеспечено следующими мероприятиями:

применением малозумных вентиляторов, а также выбором оптимальных режимов их работы;

выполнением мероприятий по звуко- и виброизоляции вентиляционных установок;

поглощением звуковой энергии путем установки глушителей; устройством гибких вставок в воздуховодах;

снижением скорости движения воздуха в воздуховодах (до 5—6 м/сек в магистральных воздуховодах и 2—4 м/сек в ответвлениях);

увеличением звукоизоляции воздуховодов;

уменьшением фактора направленности звука относительно «тихого» помещения;

рациональным расположением «тихих» помещений относительно источников шума;

повышением фонда общего звукопоглощения в «тихом» помещении.

Наиболее эффективным мероприятием оказывается снижение шума в источнике его возникновения. Для этой цели необходимо электродвигатель и вентиляторы устанавливать на амортизаторах на фундаментах, устранять непосредственную связь с конструкциями здания, снижать возбуждение и передачу звуковых вибраций. С помощью выбора соответствующей формы лопастей и числа оборотов можно значительно снизить шум вентиляторов. Если снизить уровень звуковой мощности вентиляторов затруднительно, следует осуществить комплекс мероприятий по глушению шума в системе воздуховодов. Потери звуковой энергии в воздуховодах связаны с перераспределением звуковой мощности в зависимости от площади воздуховодов и разветвлений, отражением звука в элементах воздуховодов, а также диссипативными потерями в воздухе и в материале воздуховодов.

Для заглушения шума вентиляционных установок, кондиционеров воздуха и воздушного отопления широко применяются различные диссипативные глушители (пластинчатые, сотовые, трубчатые, камерные), а также облицованные звукопоглощающими материалами воздуховоды, фасонные части и повороты. Расчет параметров и акустической эффективности глушителей, а также их типы приведены в [2, 4, 29, 30].

Существенным недостатком указанных глушителей является необходимость применения дорогостоящего рыхлого звукопоглощающего материала, который легко подвергается выдуванию. Этого недостатка лишены некоторые специальные глушители, работающие на принципе интерференции звуковых волн. Частотный диапазон эффективной работы может быть расширен при правильном подборе параметров глушителя и точном выполнении его согласно проекту.

На рис. 39 представлен интерференционный глушитель шума \*. Глушитель содержит отводные каналы, которые выполнены

\* Авторское свидетельство на изобретение № 279873 «Глушитель тонального шума аэрогазодинамической установки». Авторы: Тимофеенко Л. П. и Факторович И. А. «Бюллетень изобретений», № 27, 1970.

с подвижными диафрагмами для измерения геометрических параметров канала, причем отводной канал имеет несколько соединенных последовательно отводных каналов различных геометрических размеров. Регулируя параметры — площадь сечения и длину комплекса отводных каналов, — которые могут иметь любую форму сечения, можно настроить глушитель на широкий диапазон характерных частот. Опытный образец данного глушителя был изготовлен в тресте Киевспецстрой и смонтирован на одном из объектов строительства. Эффективность глушителя оказалась достаточно высокой и обеспечила нормативные требования по допустимому шуму.

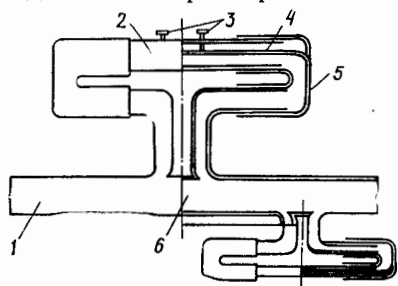


Рис. 39. Интерференционный глушитель шума:

1 — магистральный воздуховод; 2 — отводной канал; 3 — винты; 4 — подвижная диафрагма; 5 — раздвижные кулисы; 6 — прямой участок основного канала.

Более высокую эффективность в широком диапазоне частот обеспечивает интерференционный глушитель шума, содержащий пластины с углублениями\*.

Углубления в пластинах из плотного материала, например бетона, керамики и т. п., объединены в группы, расположенные последовательно и симметрично относительно друг друга, а высоты углублений соседних групп относятся между собой как взаимно-простые числа (рис. 40). Макси-

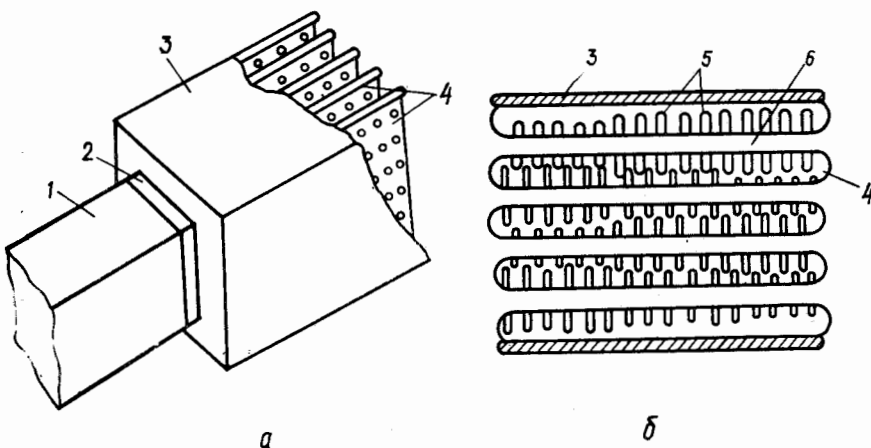


Рис. 40. Глушитель шума с несквозной перфорацией:

а — общий вид; б — разрез; 1 — воздуховод; 2 — соединительный патрубок; 3 — корпус; 4 — шумозаглушающие пластины; 5 — углубления; 6 — воздушный промежуток.

\* Авторское свидетельство на изобретение № 516093 «Глушитель шума». Авторы: Тимофеев Л. П., Терк В. А., Коваленко В. В. «Бюллетень изобретений», № 20, 1976.

мальное глушение в широком диапазоне частот достигается при равенстве диаметров и высот резонансных углублений, расположенных друг против друга. По данным лабораторных исследований [31], эффективность глушителя достигает 30—40 дБ при рабочей длине 27 см и плоском канале 2×15 см. Преимуществом глушителя является не только высокая эффективность, но и полное исключение дорогостоящих и дефицитных звукопоглощающих материалов.

### Насосные установки

Современные многоэтажные здания оборудуются насосами подкачки воды, которые устанавливаются в системах центрального отопления, холодного и горячего водоснабжения. При работе насосов возникают вибрации, которые распространяются по ограждающим конструкциям здания вызывая излучение звуковой энергии в изолируемые помещения. Как показывает практика, бороться с такими шумами очень сложно.

Основные рекомендации по снижению шума насосных установок:

выносить насосные за пределы жилых зданий, размещая их на удалении в отдельных зданиях;

устанавливать насосы на плавающие фундаменты с амортизаторами;

тщательно сбалансировать насосы, их движущиеся части (особенно роторы);

снабжать трубопроводы насосов на участке выхода гибкими вставками (ГОСТ 8496—57);

в местах крепления трубопроводов и прохождения их через строительные конструкции устанавливать упругие прокладки;

покрывать участки трубопроводов в пределах насосных эффективным вибродемпфирующим материалом.

На рис. 41 представлена схема примерной виброизоляции насосной установки с целью максимального уменьшения шумового воздействия на помещения здания.

По данным натурных измерений, уровни звукового давления в помещениях, расположенных над насосными, достигают 50—65 дБ, что создаст очень неблагоприятные условия для проживания людей. Поэтому при проектировании зданий со встроенными насосными необходимо первостепенное внимание уделять правильному расчету и выбору комплекса мероприятий по изоляции насосов [4, 5].

При расчете фундаментов под насосы их вес следует принимать в 3—5 раз больше веса двигателя и насоса, что увеличивает инерционное сопротивление раскачиванию. Обычно в качестве фундамента используют железобетонные плиты (рис. 41). Установка фундамента на амортизаторы — одна из наиболее эффективных мер по устранению звуковых вибраций. Парамет-



ры амортизаторов и их тип следует определять путем расчета [4, 5].

Поскольку по трубопроводам передается звуковая вибрация в квартиры, обязательным является использование гибких вставок длиной 70—90 см (резиновых армированных патрубков), рассчитанных на требуемое давление воды. Желательно пропускать трубопроводы на максимальном удалении от «тихих» жилых комнат.

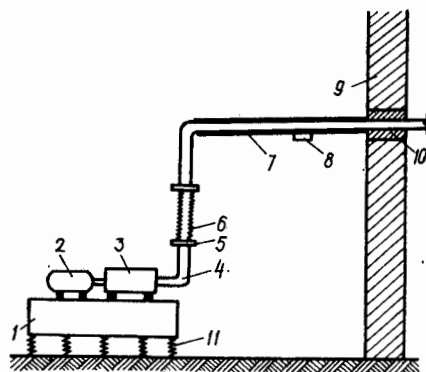


Рис. 41. Схема установки фундамента под насос:

1 — плавающий фундамент; 2 — электродвигатель; 3 — насос; 4 — трубопровод; 5 — фланец с хомутами; 6 — гибкая вставка; 7 — вибродемпфирующее покрытие; 8 — кронштейн с упругой прокладкой; 9 — стена здания; 10 — упругие изоляционные прокладки.

ронованные материалы, из которых можно также изготавливать звукоизоляционные элементы трубопроводов. В случае работы насоса в сложных режимах в качестве элемента трубопровода (вставки, переходники, колена и т. п.) можно использовать вибродемпфирующий звукоизоляционный элемент, разработанный в НИИСФ\*. Элемент (рис. 42) выполнен в виде разделенных прослойками стеклоткани листов металла. Листы являются составными по толщине. Каждый лист покрыт эмалью, содержащей окислы тяжелых металлов, и разделен прослойками из металлизированных стеклопленок. Из этого материала можно не только изготавливать элементы арматуры, но и использовать его в виде армированного вибродемпфирующего покрытия.

Если насосная размещена под перекрытием жилого здания с невысокой звукоизолирующей способностью, целесообразно облицевать насосную звукопоглощающим материалом или же выполнить подшивной потолок под этим перекрытием. Это может сни-

\* Авторское свидетельство на изобретение № 358487 «Вибродемпфирующий звукоизоляционный элемент». Авторы: Никольский В. Н., Тимофеев Л. П., Биевецкий Э. А., Светлов А. Г. — «Бюллетень изобретений», № 34, 1972.

зить уровень звукового давления в изолируемом помещении на 5—10 дБ. Для устранения распространения воздушного шума следует также принять меры к повышению звукоизоляции входных дверей путем повышения их герметичности и веса или же устройства двойных дверей.

Неудовлетворительный шумовой режим в домах с насосными установками вызван, прежде всего, невыполнением вышеуказан-

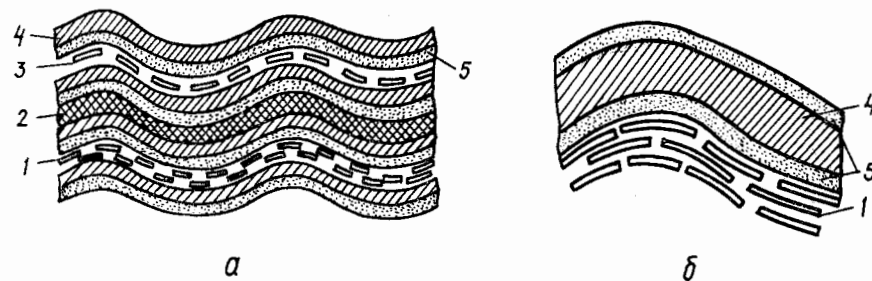


Рис. 42. Вибродемпфирующий звукоизоляционный элемент:

а — разрез; б — лист металла; 1 — металлизированная стеклопленка; 2 — прослойка стеклоткани; 3 — лист металла; 4 — гофрированные ленты; 5 — эмаль.

ных мероприятий по виброизоляции. Даже вынос насосных за пределы подвала здания без тщательной виброизоляции насоса не дает эффекта. Например, в экспериментальном 9-этажном объемно-блочном доме типа БК-9 (Киев) помещение насосной было вынесено из здания, но вследствие отсутствия виброизоляции структурный шум по трубопроводу передавался на конструкции здания, что создавало недопустимый шум в жилых помещениях. Только после выполнения комплекса мер шум насосной установки удалось снизить.

### Лифтовые установки

При работе лифтовых установок возникают звуковые вибрации и воздушный шум, которые распространяются по многоэтажному зданию на большие расстояния. Обеспечить защиту помещений от шума лифтовых установок можно комплексом архитектурно-планировочных, строительно-акустических и эксплуатационно-технических мероприятий.

Исследования шума лифтов в современных жилых зданиях показали, что в помещениях, размещенных в непосредственной близости от лифтовой шахты, наблюдаются уровни звукового давления от 45 до 70 дБ, причем спектр шума имеет преимущественно низко- и среднечастотные составляющие. При работе лифтов шумовые помехи возникают во всем здании как в дневное, так и в

ночное время, поэтому очень важно при проектировании зданий правильно размещать лифтовую установку в плане и по высоте здания.

Не рекомендуется размещать шахты лифтов смежно с тихими помещениями квартиры — спальнями, кабинетами, общими комнатами.

С точки зрения звукоизоляции наиболее предпочтительно размещать лифты в выносных шахтах снаружи здания. При размещении лифта внутри лестничной клетки шахту лучше устраивать между лестничными маршами, причем смежными помещениями должны быть ванны, кухни, кладовые, прихожие и т. п.

Важное значение имеет место расположения машинного отделения. Оптимальным в отношении снижения шума является размещение машинного отделения внизу (в подвале), однако это значительно усложняет работу лифта. Поэтому в настоящее время в большинстве случаев машинное отделение размещается сверху, над шахтой, обычно на крыше здания или же на уровне технического этажа. Такое размещение машинного отделения с точки зрения эксплуатации крыши, ее надежности и дол-

говечности неудачно, т. к. вызывает образование снеговых мешков и снижение гидроизоляционных свойств в местах стыковки стеновых элементов машинного отделения и кровельных плит. Расположение машинного отделения на уровне последнего этажа здания обеспечивает устранение указанных недостатков, однако без специальных мер по усилению звуко- и виброизоляции может привести к ухудшению шумового режима в помещениях последнего этажа.

В тресте «Киеворгстрой» (инж. Романовский В. Ю.) при участии НИИСК была разработана конструкция помещения машинного отделения, содержащая панель пола коробообразной формы с консольными выступами, на которые упруго оперты плоские панели стен отделения. Панели были отделены упругими прокладками от чердачного перекрытия и внутренних стеновых панелей (рис. 43). Опирали панели пола на стенки лифтовой шахты осуществлялось через упругие прокладки, например из мяг-

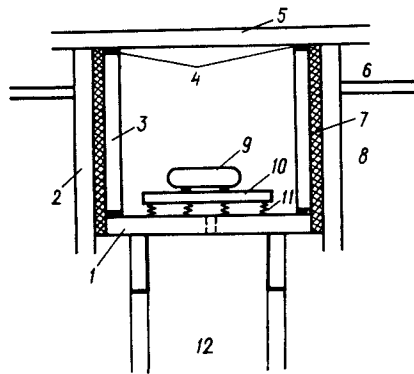


Рис. 43. Схема размещения машинного отделения лифта в пределах последнего этажа здания:

1 — коробообразная панель пола; 2 — внутренняя стена здания; 3 — панели стен машинного отделения; 4 — упругие прокладки; 5 — кровельные панели; 6 — чердачное помещение; 7 — изоляционные древесноволокнистые плиты; 8 — помещения квартир; 9 — лебедка; 10 — фундамент; 11 — амортизаторы; 12 — шахта лифта.

ких древесно-волоконных плит, обработанных антисептиками и антипиренами. Ограждающие панели машинного отделения соединялись между собой дискретными линейными связями.

Таким образом, была обеспечена полная акустическая развязка помещения от несущих конструкций здания, что позволило реализовать это предложение на практике без ухудшения акустического комфорта в помещениях жилых зданий. Натурные испытания более чем в 30 экспериментальных жилых домах серии 1-464 А и I КГ — 480 (Киев) подтвердили возможность обеспечения нормативного шумового режима согласно требованиям СНиП II-Л. 1—71.

Лифтовые шахты следует размещать на самостоятельном плавающем фундаменте, не связанном с несущими конструкциями здания. Звукоизолирующая способность стен шахты и внутренних стен здания должна быть не ниже 50 дБ.

Для снижения шума лифтовых установок необходимо в первую очередь снизить шум и вибрации основных элементов — редукторов, тормозных электромагнитов, подшипников, вентиляторов двигателя, дверных механизмов, лебедок и т. д. Создание малошумных лифтов является первоочередной задачей механиков и конструкторов.

Особенно активным источником шума в лифтовых установках являются шахтные двери. Предпочтительно использование раздвижных дверей, которые не создают хлопающих ударов при закрывании. В случае применения распашных дверей следует устанавливать по периметру упругие прокладки из резины, а также использовать буферные амортизаторы. Все оборудование лифтовой установки — поэтажные переключатели, замки дверей, тормоза, контактные панели и т. д. — должно быть тщательно виброизолировано и обесшумлено. При этом следует руководствоваться «Техническими условиями проектирования лифтов и лифтовых установок» (СН 45—59).

### Водопровод и канализация

Системы трубопроводов и отверстия для них в конструкциях стен и перекрытий являются причиной резкого снижения звукоизоляции ограждающих конструкций. В частности, как было установлено исследованиями в объемно-блочных зданиях, плохо заделанные отверстия для трубопроводов в междуквартирных стенах и перекрытиях были причиной снижения показателя звукоизоляции от воздушного шума на 3—5 дБ.

Источниками шума является арматура трубопроводов, сами трубопроводы, различные санитарно-технические приборы и т. п. Вследствие незначительного затухания звука в металле эти шумы передаются по всему зданию на большие расстояния. Образование шумов в трубопроводах вызвано турбулентностью потока воды, которая возрастает с увеличением скорости потока.

При закрывании и открывании водопроводных кранов возникают гидравлические удары, кавитация и завихрение водяных струй, шумообразование наблюдается и при резких поворотах, изменении сечений труб, ответвлений под острыми углами и т. д.

Мероприятия по снижению шумов трубопроводов должны разрабатываться на стадии проектирования и предусматривать: правильную планировку квартир и размещение водопроводно-

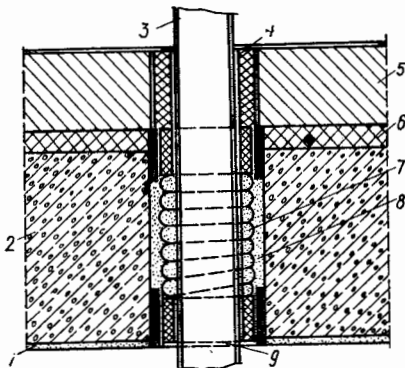


Рис. 44. Звукоизоляция трубопровода в перекрытии:

1 — затирочный слой; 2 — перекрытие; 3 — трубопровод; 4 — упругая прокладка из минераловатных плит; 5 — плавающий пол; 6 — упругая подкладка; 7 — жгут из стекловаты; 8 — заполнение песком; 9 — упругая резиновая втулка.

исключение резких изменений сечений труб, острых граней, ребер, поворотов и т. д.;

применение малошумных санитарно-технических приборов; устранение жесткой связи трубопроводов с несущими конструкциями здания, обязательное использование упругих прокладок в хомутах;

применение унитазов с низкорасположенными смывными бачками.

Строительными нормами и правилами предусмотрены ограничения скорости движения воды в магистральных и стояках до 1,5 м/сек, а в подводках к водопроводным кранам — 2,5 м/сек. Снижение скорости струи, достигаемое при использовании трубопроводов повышенного сечения, хотя и снижает напор в сети, но позволяет снизить шумы в арматуре и трубопроводах.

При выполнении монтажных работ по прокладке трубопроводов особое внимание следует обращать на качество сварных соединений: при сварке труб часто образуются наплывы на внутрен-

ней поверхности, которые создают незначительное местное сопротивление, увеличивающееся с уменьшением диаметра труб.

Основной причиной интенсивной передачи шума от работы санитарно-технического оборудования является жесткая связь санитарно-технических приборов с междуквартирными стенками. Отрицательное влияние оказывают: плотное примыкание ванны к стене; расположение в стене водопроводных труб; жесткое крепление к стене раковины, смывного бачка, мойки, водопроводных и канализационных труб.

Междуквартирные стенки излучают звуковую энергию в смежные жилые помещения. Наиболее целесообразно устранять связь между санитарно-техническим оборудованием и междуквартирной стенкой с помощью дополнительной стенки, установленной на отnose от капитальной междуквартирной стены.

Звуковая мощность, излучаемая непосредственно самими трубопроводами, относительно невелика, т. к. диаметр труб по сравнению с длиной волны звука мал (аномальное излучение).

Основную звуковую энергию излучают большие поверхности строительных конструкций, с которыми трубопроводы имеют непосредственный контакт. Снижение звукоизолирующей способности междуэтажных перекрытий на 2—3 дБ наблюдается за счет излучения звуковой энергии относительно большими поверхностями радиаторов, вибрационное возбуждение которых передается по трубопроводам. Особенно опасно жесткое соединение трубопроводов с легкими перегородками, которые становятся вторичными источниками шума.

Наиболее часто источником шума являются водопроводные краны, в которых образуются турбулентные потоки и происходят гидравлические удары. Для их устранения необходимо увеличение площади живого сечения излива, применение перлаторов, изменение дроссельных органов, тщательная подгонка клапанов и др. [1, 5].

Встроенные шумные помещения

Конструктивные мероприятия по повышению собственной звукоизоляции стен и перегородок, отделяющих жилые помещения квартир от шумных помещений (кафе, магазины, АТС, спортзалы, мастерские, и т. п.), приведены на стр. 48.

Обеспечение нормативного уровня звукового давления в изолируемых помещениях практически невозможно без выполнения комплекса мероприятий, направленных не только на увеличение собственной звукоизоляции разделяющих конструкций, но и на ликвидацию шумов и звуковых вибраций инженерно-технического оборудования. Локализация шумов, возникающих во встроенных шумных помещениях, должна осуществляться с помощью следующих мероприятий:

устройство изоляционных швов между ограждающими конст-

рукциями шумного и тихого помещений, заполненных упругим материалом на всю толщину;

выполнение активной виброизоляции шумных машин и механизмов;

устранение санитарно-технических трубопроводов, проходящих через разделяющую тихие и шумные помещения стену или перекрытие;

облицовка шумного помещения звукопоглощающими материалами, а также размещение в них штучных звукопоглотителей;

выполнение плавающих полов в шумном помещении, полностью изолированных от несущих конструкций зданий;

устройство гибкой обшивки на отnose с двух сторон разделяющего ограждения и примыкающих к нему продольных стен или перекрытий;

устройство звукоизолирующих дверей с герметичными притворами и глухих неоткрывающихся окон в шумном помещении.

Наиболее эффективным способом борьбы с шумом встроенных шумных предприятий являются не мероприятия, связанные с устранением уже возникшего шума или вибрации путем применения соответствующих строительно-акустических методов, а предусматривающие подавление шума или вибрации в источнике возникновения и устраняющие возможность их образования. Поэтому при необходимости размещения шумных помещений в пределах жилых зданий необходимо, прежде всего, принять меры по оснащению их мал шумным оборудованием, по тщательной его виброизоляции. Главным требованием при этом остается размещать шумные помещения на возможно большем удалении от жилых помещений. Шумные помещения следует группировать в одной части здания, а тихие — в другой.

#### **АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ПОМЕЩЕНИЙ ОТ ШУМА**

##### **Рациональная планировка тихих и шумных помещений**

Разработку мероприятий по обеспечению необходимой звукоизоляции помещений от различного вида шумовых воздействий необходимо начинать на стадии разработки проекта. Защита зданий от наружных шумов должна начинаться с разработки генерального плана и градостроительного проекта, основанных на карте шума города (см. стр. 35).

При этом особо важное значение приобретает функциональное зонирование застройки, которое предусматривает оптимальное, с точки зрения защиты от шума, размещение жилых зданий относительно источников шума (максимальное удаление жилой застройки от транспортных магистралей, защита жилой застройки зданиями общественного и коммунального назначения, устройство шумозащитных экранов и т. п.).

Это требование является необходимым при архитектурном проектировании новых жилых районов и массивов. Вопросы оценки качества проектов районов должны обязательно учитывать эффективность градостроительных мероприятий по шумозащите.

Как показывает практика, требование обеспечения тишины в квартирах является доминирующим при выборе жилья.

В отечественной строительной практике архитекторы при разработке планировочных решений жилых зданий недостаточно внимания уделяют вопросам рационального, с точки зрения звукоизоляции, размещения тихих и шумных помещений. В то же время, исходя из экономических соображений, меры по обеспечению повышенной звукоизоляции ограждений не всегда принимаются.

При разработке проекта здания в обязательном порядке должны учитываться планировочные мероприятия по борьбе с внутренними шумами. Помещения, являющиеся источниками шума, должны быть изолированы от тихих помещений и сгруппированы в одном месте, например вокруг лестничной клетки. Это прежде всего относится к общественным зданиям, требующим защиты от шума (школы, больницы, гостиницы и т. д.).

С точки зрения звукоизоляции помещений некоторые традиционные планировочные приемы оказываются неудачными. Так, расположение ванной непосредственно рядом со спальней создает ряд трудноустраняемых шумовых помех: в спальню передаются звуковые вибрации от трубопроводов и арматуры, а также воздушный шум, создаваемый струей воды при наполнении ванны и бачка унитаза.

Аналогичная ситуация возникает при размещении спальни рядом с лестничной клеткой.

На рис. 45 показано более удачное планировочное решение секции объемно-блочного здания типа БК-4 (Харьков, Кременчуг). Шумные помещения, содержащие инженерные коммуникации (кухня, санузел, ванная), размещены смежно и рядом с лестничной клеткой. Междуквартирные перегородки усилены звукоизоляционными диафрагмами. Однако размещение спален рядом с лестничной клеткой нельзя признать удачным — их целесообразнее было бы вынести в глубину квартиры. Для обеспечения их звукоизолирующей способности стенки, смежной с лестничной клеткой, и устранению передачи шума вагонов в лестничной клетке (например, ступени покрыть упругими ковриками из резины или специальной пластмассы, устранить жесткую связь между стенкой лестничной клетки и блок-комнатами). Для уменьшения реверберации лестничной клетки целесообразно ее стенки покрывать звукопоглощающим материалом, в частности звукопоглощающей штукатуркой.

Применение конструктивных мер с использованием ограждений с высокой звукоизолирующей способностью не всегда обеспечивает необходимую тишину в помещениях. Так, при строи-

тельстве крупнопанельных зданий из однородных панелей с большой поверхностной плотностью ( $400 \text{ кг/м}^2$ ) иногда не обеспечивается необходимый акустический комфорт, хотя собственная звукоизоляция этих панелей, по данным лабораторных измерений, является вполне достаточной и обеспечивает нормативные требования ( $E_b = 0 \text{ дБ}$ ).

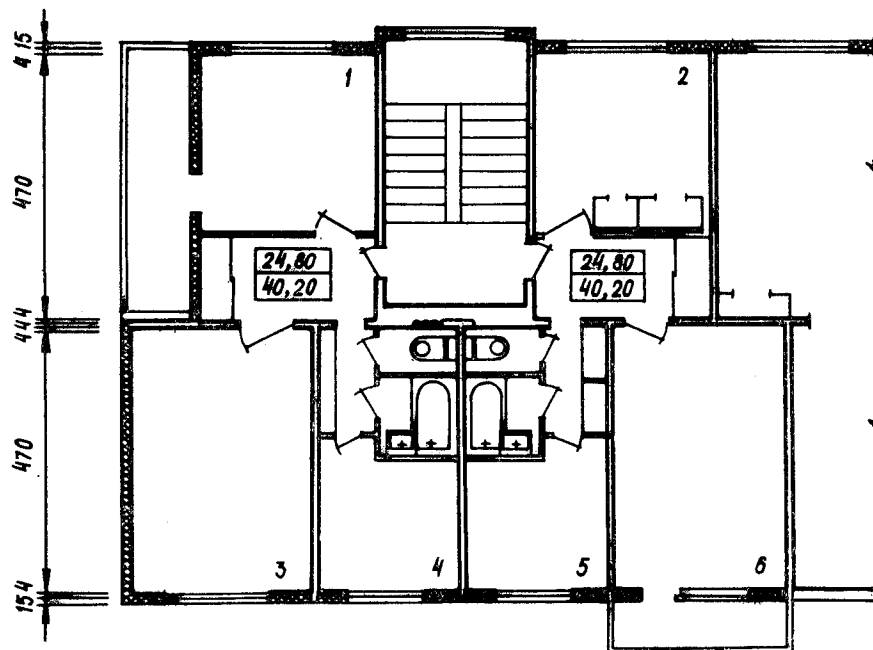


Рис. 45. Планировка секции объемно-блочного здания типа БК-4:  
1, 2 — спальня; 4, 5 — кухня; 3, 6 — общая комната.

Размещение санузлов вблизи междуквартирных стен не обеспечивает нормативный акустический режим в жилых помещениях соседних квартир вследствие возникновения структурного шума и отсутствия упругих прокладок между санитарно-техническим оборудованием и междуквартирной стенкой. В таких случаях рекомендуется устраивать дополнительную стенку на отnose от междуквартирной стены.

В этой связи представляется перспективным направление проектирования жилых зданий, когда повышенная звукоизоляция междуквартирных стен обеспечивается комплексом вышеописанных мероприятий только для тихих помещений. Толщины других ограждающих конструкций, например для внутриквартирных стен, могут быть гораздо ниже, что также может дать ощутимый экономический эффект.

#### Размещение помещений относительно внешних источников шума

В современных городах и других населенных пунктах наибольшие трудности вызывает защита помещений от транспортного шума. При архитектурно-планировочном решении проектов зданий уже на стадии проектного задания необходимо уделять внимание рациональному размещению помещений по отношению к шумным транспортным потокам.

Наиболее целесообразно защиту помещений от транспортного шума осуществлять путем размещения вдоль магистральных улиц зданий общественного назначения, торговых, коммунально-бытовых объектов. Примером удачного решения в этом плане является застройка Брест-Литовского проспекта в Киеве. Между шумной магистралью и 9-этажными жилыми зданиями, расположенными торцевым фасадом к этой магистрали, находится комплекс двухэтажных зданий торгового и коммунального назначения, в которых допустимый нормами уровень шума значительно превышает уровень шума в жилых комнатах квартир.

В существующей городской застройке, а также в новых районах при строительстве зданий вдоль шумных магистралей следует использовать специальную планировку квартир с учетом ориентации подсобных помещений на магистраль.

В проектных институтах страны (Киевпроект, СибЗНИИЭП) в последние годы ведутся работы по созданию проектов шумозащитных домов, которые включают комплекс мероприятий архитектурно-планировочного и конструктивного характера по повышению звукоизоляции помещений. При разработке этих проектов предусматривается, прежде всего, защита помещений и жилых территорий от внешних шумов. Шумозащитные дома характеризуются следующими планировочными решениями:

нежилые помещения квартир (кухни, санузлы, лестничные клетки, галереи, кладовые, коридоры и т. п.) ориентируются на шумную улицу, шумоопасную зону;

жилые помещения (спальни, кабинеты, общие комнаты) ориентируются в противоположную от источника шума сторону.

Как показывает практика, в большой мере указанным планировочным решениям удовлетворяют галерейные дома, т. е. дома с односторонней ориентацией жилых помещений. На рис. 46 показана широко используемая в ГДР планировка секции с удачным, с точки зрения звукоизоляции, размещением квартир.

Возможна и обычная планировка квартир, зданий, расположенных вдоль шумных магистралей, но в этом случае необходимы дорогостоящие мероприятия по обеспечению повышенной звукоизоляции оконных и дверных проемов и, кроме того, наружных стен. Особые требования здесь предъявляются к окнам, которые, как уже было сказано, должны обеспечить звукоизоляцию 35—40 дБ.

Специальные звукоизоляционные окна значительно дороже обычных (примерно в 2 раза), они могут устраиваться только в спальнях и общих комнатах. Такие окна обеспечивают снижение шума на 30 дБА; для отдельных объектов могут устраиваться глухие герметические окна и кондиционирование воздуха.

Шумозащитные здания размещаются обычно вдоль шумных магистралей и должны иметь повышенную звукоизолирующую способность наружных фасадных стен (с минимально возможной площадью остекления).

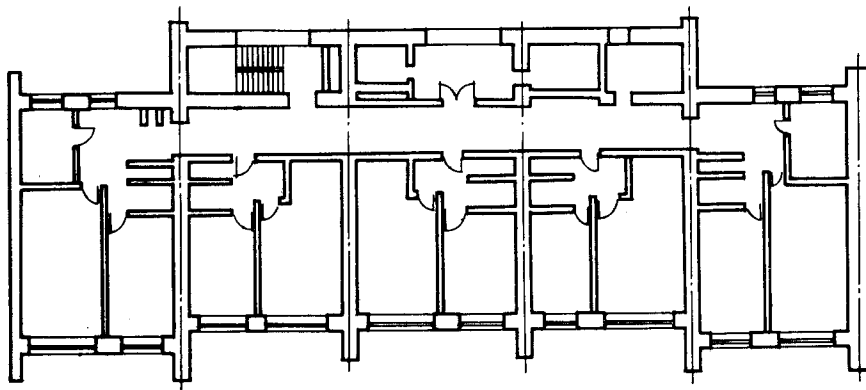


Рис. 46. Планировка секции с галерейным размещением жилых помещений.

При разработке наружных стен следует использовать материалы с повышенной звукоизоляцией (кирпич, железобетон), избегая применения остекленных эркеров, лоджий, галерей. Применение звукопоглощающих материалов для облицовки наружных стен и боковых стен лоджий дает незначительные результаты. Большой эффект может дать членение фасадов различными экранящими выступами, углублениями и другими архитектурными деталями.

Недостатком существующих решений по планировке при магистральных территориях жилой застройки является то, что вдоль них размещают жилые здания с обычной планировкой. Как показывают измерения, уровень звука в жилых помещениях, выходящих на магистраль, составляет 55—60 дБА, что превышает ночную санитарную норму на 25—30 дБА. Поэтому целесообразно осуществлять сплошную фронтальную застройку магистралей шумозащитными зданиями с возможно большим удалением их от магистралей и посадкой сплошного густого зеленого насаждения (деревьев и кустарников) на прилегающих к магистралям территориях. Максимальный эффект дает размещение магистралей в выемках.

Следует отметить, что архитектурно-планировочные меры по улучшению акустического режима в помещениях зданий требуют некоторого удорожания проектов и строительства, однако при этом повышается плотность застройки, уменьшается стоимость инженерного оборудования ее, а самое главное — повышаются эксплуатационные качества зданий, что позволяет улучшить условия труда и отдыха населения.

Наибольшие трудности по шумозащите помещений зданий возникают при наличии на территории жилой застройки шумных предприятий бытового обслуживания, ресторанов, трансформаторных подстанций и т. д. Нередко шум, создаваемый этими объектами, достигает 80—85 дБА при дневной санитарной норме для территории жилой застройки 55 дБА. В этом случае наиболее эффективны меры по локализации шума в источнике его возникновения методами звукоизоляции, звукопоглощения (пассивные мероприятия) и меры по устранению шума в источнике его возникновения (активные мероприятия).

Если при разработке проектов зданий проектировщиками правильно решены архитектурно-планировочные задачи по звукоизоляции помещений, то конструкторы должны выполнить разработку конструктивных частей здания — перекрытий, стен, перегородок, окон — с учетом обеспечения требуемой звукоизолирующей способности их.

При таком комплексном подходе вопросы звукоизоляции будут решаться наиболее эффективно.

В настоящее время вопросы обеспечения благоприятного акустического режима в помещениях жилых, общественных, административных зданий находятся в центре внимания партийных, государственных и общественных организаций нашей страны. В соответствии с постановлением Совета Министров СССР № 726 от 3 октября 1973 г. во всех союзных республиках созданы комиссии по борьбе с шумом, которые намечают мероприятия по снижению шума в городах, по координации научных и исследовательских работ в этой области.

Административные меры по повышению акустического комфорта в городах, по защите зданий от шума могут быть весьма эффективны. Их следует отнести к активным мероприятиям: они направлены, прежде всего, на разработку законодательных актов, касающихся как общих вопросов борьбы с шумом в градостроительстве, так и частных, например, звукоизоляции конструкций зданий, снижения шума инженерно-технического оборудования.

Ограничение или полное запрещение движения грузового автомобильного транспорта по отдельным улицам значительно улучшают акустическую обстановку в помещениях зданий, выходящих на эту магистраль. Эта мера иногда может оказаться наиболее действенной из всех возможных технических средств по повышению звукоизоляции помещений.



В административном порядке целесообразно также было бы запретить выпуск на улицы города автомобилей и мотоциклов без соответствующих глушителей, с уровнем шума, превышающим определенный нормативный предел.

Заслуживает внимания опыт ряда некоторых зарубежных стран по созданию «зон тишины» во вновь проектируемых районах и так называемых тихих городов-спутников, где защита помещений от шума решается с помощью целого комплекса мероприятий градостроительного, строительного-акустического и административного характера.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Эйхлер Ф. Борьба с шумом и звукоизоляция зданий. М., Стройиздат, 1962.
2. Справочник проектировщика. Защита от шума. М., Стройиздат, 1974.
3. Осипов Г. Л. Защита зданий от шума. М., Стройиздат, 1972.
4. Борьба с шумом. Под ред. Е. Я. Юдина. М., Стройиздат, 1964.
5. Ковригин С. Д., Захаров А. В., Герасимов А. И. Борьба с шумами в гражданских зданиях. М., Стройиздат, 1969.
6. Тимофеев Л. П. Исследование звукоизоляции зданий из объемных элементов на моделях. — В сб.: «Строительные конструкции». Вып. XI. Киев, «Будівельник», 1969.
7. Боголепов И. И., Авферонк Э. И. Звукоизоляция на судах. М., «Судоостроение», 1970.
8. Дрейзен И. Г., Тимофеев Л. П. Звукоизлучение строительных конструкций в форме замкнутого объема. НТИ, ЦИНИС. Вып. 7. М., 1967.
9. Тимофеев Л. П. Некоторые вопросы звукоизоляции зданий из объемных блоков. — В сб.: «Звукоизоляция ограждающих конструкций жилых и общественных зданий». Вып. VII, НИИСФ, 1969.
10. Заборов В. И. Теория звукоизоляции ограждающих конструкций. М., Стройиздат, 1969.
11. Никольский В. Н., Заборов В. И. Звукоизоляция крупнопанельных зданий. М., Стройиздат, 1964.
12. Тимофеев Л. П. Звукоизоляция высотных зданий из вибропроркатных панелей. — «Строительство и архитектура», 1972, № 1.
13. Никольский В. Н., Репина Е. В., Тимофеев Л. П. Звукоизоляция конструкций зданий. — «Сельское строительство», 1968, № 4.
14. Тимофеев Л. П. Акустические свойства объемно-блочных зданий. — «Строительство и архитектура», 1972, № 8.
15. Крейтан В. Г. Звукоизоляция в домах с конструкциями из легкого бетона. — «Жилищное строительство», 1975, № 10.
16. Осипов Г. Л., Прутков Б. Г., Шишкин И. А., Карагодина И. Л. Градостроительные меры борьбы с шумом. М., Стройиздат, 1975.
17. Самойлюк Е. П. Борьба с шумом в градостроительстве. Киев, «Будівельник», 1975.
18. Заборов В. И. и др. Снижение шума методами звукоизоляции. М., Стройиздат, 1973.
19. Gosele K. Zur Luftschalldämmung von einschaliqen Wänden und Deecken Acustica, V 20, 6, 1968.
20. Моифред Ю. Б. и др. Здания из объемных блоков. М., Стройиздат, 1974.
21. Никольский В. Н., Анджелов В. Л., Тимофеев Л. П. Рекомендации по обеспечению надежной звукоизоляции зданий из объемных блоков. М., ЦНИИЭПжилища, 1971.
22. Тимофеев Л. П., Плотинский И. С., Факторович И. А. Звукоизоляционные панели перекрытий. — «Строительство и архитектура», 1973, № 7.

23. Тимофеев Л. П. О звукоизоляции перекрытий зданий при различных условиях опирания. — В сб.: «Звукоизолирующие и звукопоглощающие конструкции в строительстве и на транспорте». Л., ЛДНТП, 1974.

24. Применение стеклопакетов в строительстве. Опыт зарубежного строительства. М., ЦИНИС, 1972.

25. Heebink T. B. Sound reduction of windows in exterior woodframed walls — "Sound and Vibration", N 9, 1975.

26. Bruckmaier F. Handbuch der Schalltechnik im Hochbau Wien, 1962.

27. Sadowsky J. Akustische Eigenschaften der Wände und Decken im vorfabrizierten Betonhäusern „Lärbekämpfung“. В 16, Н 2/3, 1972.

28. Gosele K. Schallschutz von Wohnungen „Kampf Lärm“, 21, № 5, 1974.

29. Указания по акустическому расчету вентиляционных установок (СН 399—69). М., Стройиздат, 1970.

30. Шумоглушители вентиляционных установок. Рабочие чертежи, серия № 4904 — 18/76, ЦИТИ, 1976.

31. Терк В. А. Расчет глушителя шума с несквозной перфорацией. Научные труды институтов охраны труда ВЦСПС. Вып. 87, 1974.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
<b>Основные положения по звукоизоляции зданий</b>	
Источники шума и вибраций в жилых и общественных зданиях . . . . .	5
Нормативные требования по звукоизоляции зданий и методы ее измерения . . . . .	8
Передача воздушного шума через ограждения . . . . .	16
Распространение ударного шума . . . . .	19
<b>Конструктивные мероприятия по повышению звукоизоляции зданий</b>	
Оценка звукоизоляции современных зданий . . . . .	23
Защита зданий от наружных шумов . . . . .	35
Звукоизоляция стен и перегородок . . . . .	40
Звукоизоляция перекрытий . . . . .	49
Звукоизоляция окон и дверей . . . . .	57
Снижение косвенной звукопередачи . . . . .	63
<b>Снижение шума инженерно-технического оборудования</b>	
Вентиляционные системы . . . . .	68
Насосные установки . . . . .	71
Лифтовые установки . . . . .	73
Водопровод и канализация . . . . .	75
Встроенные шумные помещения . . . . .	77
<b>Архитектурно-планировочные мероприятия по защите помещений от шума</b>	
Рациональная планировка тихих и шумных помещений . . . . .	78
Рациональная планировка тихих и шумных помещений . . . . .	81
Л и т е р а т у р а . . . . .	85

Библиотека строителя  
Серия «Инженеру-проектировщику»  
*Леонид Петрович Тимофеенко*

**Повышение эффективности  
звукоизоляции зданий**

Редактор *Л. В. Логоцкая*  
Обложка художника *А. И. Седака*  
Художественный редактор *Я. М. Яковенко*  
Технический редактор *О. Г. Шутьженко*  
Корректор *Я. Я. Чигрина*

ИБ № 363

Сдано в набор 24. 06. 77. Подп. в печ. 9. 01. 78. БФ 10660.  
Формат 60X90 <sup>1</sup>/<sub>16</sub> Бумага типогр. № 1. Лит. гарн. Выс.  
печ. Усл. печ. л. 5,5. Уч.-изд. л. 5,32. Тираж 8000 экз.  
Заказ 7—1451. Цена 35 коп.

Издательство «Будівельник», 252601, Киев-3, ГСП, Влади-  
мирская, 24.  
Киевская фабрика печатной рекламы РПО «Полиграф-  
книга» Госкомиздата УССР, Киев, Выборгская, 84.