

ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ШУМА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ НЕГО

С точки зрения проектирования акустического микроклимата помещений, под шумом понимается всякий нежелательный звук, вызывающий у человека негативные ощущения.

Физическая природа звука связана с возникновением и распространением волновых колебаний в каком-либо веществе, будь то воздух, жидкость или твёрдое тело. Распространение звуковых волн в воздухе происходит за счёт его попеременного сжатия-разрежения, создаваемого некоторым источником звука.

Попеременное сжатие и разрежение воздуха будет наблюдаться в некоторой области пространства вокруг источника, называемой в специализированной литературе звуковым полем. При этом в пределах звукового поля будет наблюдаться разница между давлением в слое сжатия или разрежения и обычным атмосферным давлением, называемая звуковым давлением (в ряде источников – «акустическое давление»).

Свойства звуковой волны характеризуются тремя основными показателями: частотой, длиной волны и скоростью распространения волны.

Частота звука f – определяет количество колебаний в одну секунду и измеряется в Герцах [Гц]. Величина в **1 герц** – это частота, при которой в одну секунду происходит одно колебание. Величина названа по имени немецкого учёного Генриха Герца.

Длина волны λ – определяет расстояние между ближайшими слоями сжатия (или разрежения) и измеряется в метрах [м].

Процесс определения скорости звука в воздухе занял несколько столетий. Первые опыты в этом направлении относятся к 1630 году и связаны с именем французского учёного Марена Марсенна. Спустя полвека Исаак Ньютон сделал первую попытку теоретического вычисления скорости звука; полученные им данные впоследствии были уточнены в работах Пуассона и Лапласа. И только в 1822 году группой учёных в составе Гей-Люссака, Араго, Гумбольта и др. вблизи Парижа были поставлены опыты, подтвердившие выведенные ранее теоретические зависимости для скорости звука в воздухе.

Учёными было установлено, что скорость звука в воздухе зависит от его температуры и составляет 331,5 м/с при 0 °С и 344 м/с при 20 °С. В акустических расчётах принимается величина скорости звука c при нормальном атмосферном давлении и температуре 290 К (17 °С), соответственно равная 340 м/с.

Длина волны, частота и скорость звука связаны между собой следующей зависимостью

$$\lambda = c f \quad (1)$$

Именно это уравнение, знакомое каждому из нас по школьным учебникам, и определяет физическую основу для проектирования шумозащитных систем.

В основу прикладной науки – строительной акустики – положены закономерности, связанные с различной чувствительностью органов слуха человека на различных частотах. Слышимость звука человеком создаётся за счёт воздействия звукового давления на барабанную перепонку уха. Любое периодическое изменение звукового давления в пределах от 16 Гц до 20 кГц приводит к периодическим колебаниям барабанной перепонки. Распространение звуковой волны сопровождается переносом энергии, которая зависит от звукового давления. Поток энергии, который воспринимают люди, обладающие особой остротой слуха, поразительно ничтожен: можно услышать звук с энергией 10^{-12} Вт/м², что соответствует звуковому давлению $P = 2 \times 10^{-5}$ Па, называемому в специализированной литературе «порогом слышимости». А перестает наше ухо слышать только те звуки, энергия которых превышает 10 Вт/м².

Способность воспринимать такой широкий диапазон звуков, интенсивность которых отличается в 10^{13} раз (!!!) является уникальным свойством человеческого уха. Измерительная техника, позволяющая определять величины, различающиеся в 10

триллионов раз (10 000 000 000 000), пока ещё не доступна человечеству. Поэтому в акустике для оценки звуковых воздействий на человека принято использовать не абсолютные величины изменения звукового давления, а относительные – логарифмические. В основу построения логарифмических зависимостей положен психофизический закон Вебера-Фехнера, описывающий субъективное восприятие звука человеком.

Основной акустической величиной, используемой для оценки изменения громкости звука при изменении потока энергии звуковой волны, является уровень звукового давления **L**, определяемый как

$$L = 20 \lg (P/P_0) \quad (2)$$

где

P - значение звукового давления в данной точке звукового поля;

P₀ = 2 × 10⁻⁵ Па – звуковое давление, соответствующее порогу слышимости

Звуковое давление измеряется величиной, называемой *децибел* [дБ] и, соответственно, составляющей десятую часть от единицы громкости – *бел* [б].

Разница уровней звукового давления в 1дБ соответствует минимальной величине, различимой слухом.

Для иллюстрации имеет смысл привести сравнительную таблицу энергетической мощности знакомых всем звуков. Эта таблица, приблизительно в одинаковом виде опубликованная во многих источниках, позволяет охарактеризовать состояние акустического микроклимата на уровне восприятия его человеком.

Любой желающий может ознакомиться с аналогичной шкалой звуковых давлений в экспозиции Дарвиновского музея в Москве, где отражён вредный для здоровья человека уровень, начинающийся от 50 дБ и опасный – превышающий 80 дБ.

Табл.1

Источник шума	Уровень звукового давления, дБ	Энергия звука, Вт/м ²	Примечания
Полная тишина	0		Угнетает
Шелест листвы	10	10 ⁻¹¹	Состояние звукового комфорта
Тиканье часов	20	10 ⁻¹⁰	
Тихий разговор, тихая музыка	35 – 40	10 ⁻⁹ ... 10 ⁻⁸	
Громкая речь	60 – 70	10 ⁻⁶ ... 10 ⁻⁵	
Громкая музыка, оживленная транспортная магистраль	75 – 90	10 ⁻⁵ ... 10 ⁻³	
Самолёт на старте	100	10 ⁻²	
Болевой порог	130 – 140		

В качестве величины, указываемой в нормативных строительных и санитарно-гигиенических документах, а также на экологических шумовых картах, выстраиваемых на основании натуральных измерений шума у фасада здания, применяется так называемый «уровень звука» (или «уровень шума» во многих литературных источниках). Величина уровня звука **L_a** представляет собой значение уровня

звукового давления L , скорректированного в соответствии с особенностями восприятия звука человеческим ухом на различных частотах.

Значения уровня звука измеряются в [дБА] (децибел-А), что указывает на поправку, вводимую в значения уровней звукового давления, измеренных в децибелах, в соответствии с кривой частотной коррекции А, которая моделируется на акустических приборах.

Допустимые уровни шума в жилых и общественных зданиях регламентируются следующими нормативными документами:

- СанПин 2.1.2.1002-00 «Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям»;
- СНИП 23-03-2003 «Защита от шума»;
- ГОСТ 12.1.036-81 (1996) «Шум. Допустимые уровни в жилых и общественных зданиях».

В соответствии со всеми перечисленными документами допустимый уровень звука в жилых комнатах должен составлять не более **40 дБА в дневное время** – с 7⁰⁰ до 23⁰⁰ и не более **30 дБА** в ночное время – с 23⁰⁰ до 7⁰⁰.

Если заглянуть в табл.1, то уровень шума в жилом помещении, требуемый в соответствии с нормами, должен находиться приблизительно на уровне спокойного разговора или прослушивания негромкой музыки. Такая оценка является достаточно грубой и субъективной, однако она на примитивном бытовом уровне позволяет дать первое представление об акустическом комфорте в квартире.

Именно до такого уровня должен снижаться шум, воздействующий на фасад здания со стороны транспортной магистрали или какого-либо другого внешнего источника шума. Иными словами, требования нормативных документов не говорят о том, что в квартире должна быть идеальная тишина. А это – фактически и является основным спорным моментом во взаимоотношениях жильцов, проектировщиков и изготовителей оконных конструкций.

Тем не менее, нужно понимать, что **снижение уровня шума с 85-90 дБА** (что соответствует скоростной автомагистрали), **до 40 дБА в помещении, представляет из себя сложнейшую техническую задачу**, даже, отбрасывая на первом этапе необходимость проветривания.

Каким образом можно погасить такое мощное шумовое воздействие на фасад здания? В Советском Союзе эта проблема в основном решалась на уровне градостроительного проектирования за счёт создания акустических экранов между транспортными магистралями и жилой застройкой.

Звук распространяется от источника равномерно во все стороны, если на его пути нет никаких препятствий, размер которых достаточно велик. Звуковые волны, как и всякие волны, способны огибать препятствия, «не замечать» их, если их размеры меньше, чем длина волны. Длина слышимых в воздухе звуковых волн колеблется от 15 м до 0,015 м. Если у препятствий на их пути меньшие размеры, например, одиночные стволы деревьев, то волны их просто огибают. Препятствие больших размеров отражает звуковые волны по тому же закону, что и световые: угол падения равен углу отражения.

Поэтому в качестве акустических экранов могут рассматриваться искусственные и естественные элементы рельефа местности – грунтовые валы, насыпи, холмы и т.п.; специальные шумозащитные сооружения – галереи, тоннели, а также шумозащитные здания-экраны со специальной планировкой. Такие мероприятия классифицируются в Европе как «элементы активной шумозащиты».

Наиболее дешёвый вариант активной шумозащиты – придорожные протяжённые стенки различной конструкции, применяется наиболее часто. Такие экраны, например, практически повсеместно, можно увидеть вдоль знаменитых скоростных «автобанов»

Германии. В Москве они установлены на некоторых участках МКАД и ТТК. Основные типы акустических экранов показаны на рис. 1.

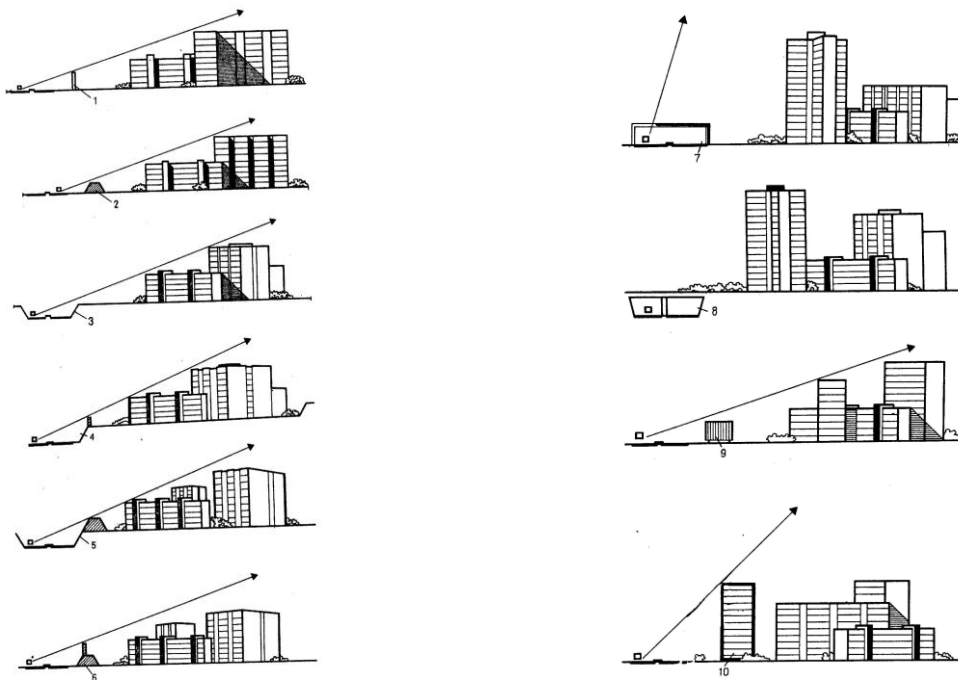


Рис.1. Основные типы акустических экранов [1]

1 – экран-стенка; 2- экран-насыпь; 3- экран-выемка; 4 – экран-терраса; 5 – комбинированный экран- выемка с насыпью; 6 - комбинированный экран – насыпь со стенкой; 7 – экран-галерея; 8 – экран-тоннель; 9- экран-здание нежилого назначения; 10 – экран-шумозащитный жилой дом.

При проектировании защиты жилых зданий от воздействия транспортного шума необходимо понимать, что **применение активной шумозащиты является основным и наиболее эффективным методом**. Вплоть до начала экономических реформ и формирования новых экономических отношений, вопрос борьбы с шумом в г. Москве рассматривался, прежде всего, как градостроительный.

Возросшая дороговизна земли и значительное повышение плотности населения, сместили вопросы борьбы с шумом в российской столице преимущественно в область строительно-акустических методов. Справедливости ради нужно сказать, что в советский период мы не имели таких широких технических возможностей в области проектирования шумозащитных оконных конструкций и систем проветривания. Поэтому – задача сегодняшнего дня практически целиком заключается в реализации этого богатого потенциала, доступного на уровне современных технических достижений развитых стран.

Существует несколько законов строительной акустики, положенных в основу проектирования шумозащитных окон.

Первый из них связан с закономерностями восприятия звука человеком на различных частотах. В строительной технике принято рассматривать диапазон частот, воспринимаемый органами слуха человека, в интервале от 32 до 4000 Гц.

При проведении акустических расчетов и измерений частотный спектр слышимого шума разбивается на октавные полосы частот (октавы), ограниченные нижней частотой f_1 и верхней частотой f_2 , при этом $f_2/f_1=2$. Таким образом, октава – это удвоение частоты. В качестве частоты, характеризующей полосу в целом, берется среднегеометрическая частота

$f = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$. Крайние и среднегеометрические частоты октавных полос стандартизованы и приведены в табл.2.

Табл. 2

Стандартизованные октавные полосы частот и среднегеометрические частоты октавных полос

Номер октавы	1	2	3	4	5	6	7
Частоты	Низкие			Средние			Высокие
Октавные полосы частот, f_1 - f_2 , Гц	45-90	90-180	180-355	355-710	710-1400	1400-2800	2800-5600
Среднегеометрическая частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000

Наибольшую чувствительность к звуковым воздействиям человек проявляет на средних частотах (в интервале приблизительно от 1000 до 3000 Гц), несколько хуже слышит высокие (примерно от 3000 до 20 000 Гц), и наименее чувствителен к звуку на низких (примерно от 20 до 400 Гц).

Шум большинства городских источников включает звуки почти всех полос частот слухового диапазона, но отличается разным распределением уровней звукового давления по частотам и неодинаковым изменением их по времени. Транспортный шум является низкочастотным, и для его снижения важен диапазон частот приблизительно до 1000 Гц.

По своей природе, транспортный шум, падающий на фасад здания, является так называемым воздушным шумом, возникающим при излучении звука источником в воздушное пространство. Звуковая волна достигает какого-либо ограждения и вызывает его колебания. Колеблющееся ограждение, в свою очередь, излучает звук в смежное помещение, и таким образом, воздушный шум достигает воспринимающего его человека.

Очевидно, что падающей звуковой волне гораздо труднее «раскачать» массивные тяжёлые стены, нежели тонкие и относительно лёгкие стёкла или стеклопакеты. Этот эффект описывается в строительной акустике законом массы, согласно которому звукоизолирующие качества конструкции возрастают в логарифмической пропорциональной зависимости с увеличением её массы и частоты падающего звука.

Соответственно, при падении звуковых волн от транспортного потока на здание, подавляющая доля шумовой нагрузки воспринимается окнами. Именно они, при отсутствии у фасада здания экранирующих элементов активной шумозащиты, практически полностью определяют степень акустической защиты помещения. Степень акустической защиты, обеспечиваемой любой ограждающей конструкцией, в том числе и окном, принято выражать в виде разности уровней звукового давления на территории (в помещении), где находится источник шума $L_{ист}$ и в изолируемом помещении $L_{пом}$. Разница уровней звукового давления $L_{ист} - L_{пом}$, таким образом, определяет шумозащитные качества конструкции, устанавливаемой на пути прохождения звуковой волны, и называется звукоизоляцией конструкции R [дБ], что может быть записано в виде соответствующего уравнения.

$$R = L_{ист} - L_{пом} \quad (2)$$

В отечественной документации на окна, как правило, указывается индекс звукоизоляции окна R_w [дБ], определённый на основании лабораторных испытаний или, гораздо чаще – индекс R_a [дБА], представляющий собой индекс R_w , пресчитанный с учётом поправки на чувствительность человеческого уха по шкале А.

В большинстве практических случаев для соотношения величин R_w и R_a может быть использована зависимость [2]

$$R_w \approx R_A + 8 \quad (3)$$

Индексы звукоизоляции R_w и R_a являются интегральными величинами и вычисляются относительно нормативной кривой звукоизоляции, содержащейся в строительных нормах, и учитывающей необходимую разницу уровней звукового давления $L_{ист} - L_{пом}$ (см. уравнение 2), которая должна быть обеспечена на каждой из частот нормируемого диапазона (см. табл. 2) в соответствии с их слышимостью ухом человека.

В значениях интегральных индексов R_w и R_a учтены неблагоприятные отклонения звукоизоляции реальной конструкции от требуемых значений на каждой из частот нормируемого диапазона (см. табл. 2), выраженные одной цифрой. Для иллюстрации, в табл. 3 приведены значения индексов звукоизоляции различных конструкций (рассчитанные по программе “ZVUK-1”, разработанной на кафедре Архитектуры МГСУ), что позволяет дать сравнительную оценку степени акустической защиты, получаемой в результате применения того или иного решения.

Табл.3.

Индексы звукоизоляции различных конструкций

Конструкция	Индекс звукоизоляции
	$R_w, \text{дБ}$
Кирпичная кладка толщиной 510 мм	55
Кирпичная кладка толщиной 250 мм	50
Кирпичная кладка толщиной 120 мм	47
Бетонная стена толщиной 200 мм	50
Стекло 10 мм	17

Для того чтобы правильно решить задачу защиты от внешнего шума при помощи оконных конструкций, необходимо **строго разделять две задачи**:

- 1) **проектирование, изготовление и монтаж непосредственно шумозащитного окна;**
- 2) **организация проветривания помещения.**

Сегодня у российских производителей окон существует иллюзия решения задачи «в одном флаконе», выражающаяся в применении небольших по размеру приточных устройств, имеющих как опция, в ассортименте любого крупного производителя оконных профильных систем из ПВХ. Вместе с тем, как европейский, так и отечественный опыт говорят о том, что совместное решение обеих задач практически невозможно.

Эта точка зрения высказывалась европейскими специалистами уже в конце 1950-х начале 1960-х годов; и чуть позже – российскими, в середине-конце 1980-х. В отечественных и зарубежных публикациях этого периода можно увидеть достаточно много конструктивных вариантов шумозащитных окон, имеющих сложную схему открывания для удлинения и усложнения пути прохождения приточного воздуха через окно (рис.2).

Неэффективность таких систем стала понятной уже практически после первых экспериментальных объектов; гораздо более высокие показатели демонстрировали хорошо уплотнённые окна, совмещённые с самостоятельным вентиляционным каналом (рис.3). Наибольшую известность получили такие конструкции системы МНИИТЭП (Московского НИИ типового и экспериментального проектирования), опробованные в Москве в жилом доме по Б. Тульской улице и в девяти жилых корпусах по Хорошевскому шоссе.

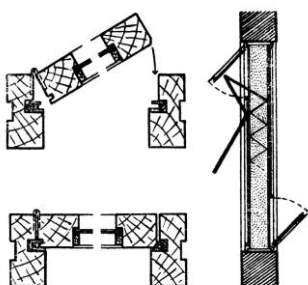


Рис. 2. Шумозащитное окно с совмещёнными функциями шумозащиты и проветривания.

Открывающиеся части внутреннего и наружного переплётов смещены с целью снижения передаваемого звука за счёт поглощения и многократного отражения звуковой волны.

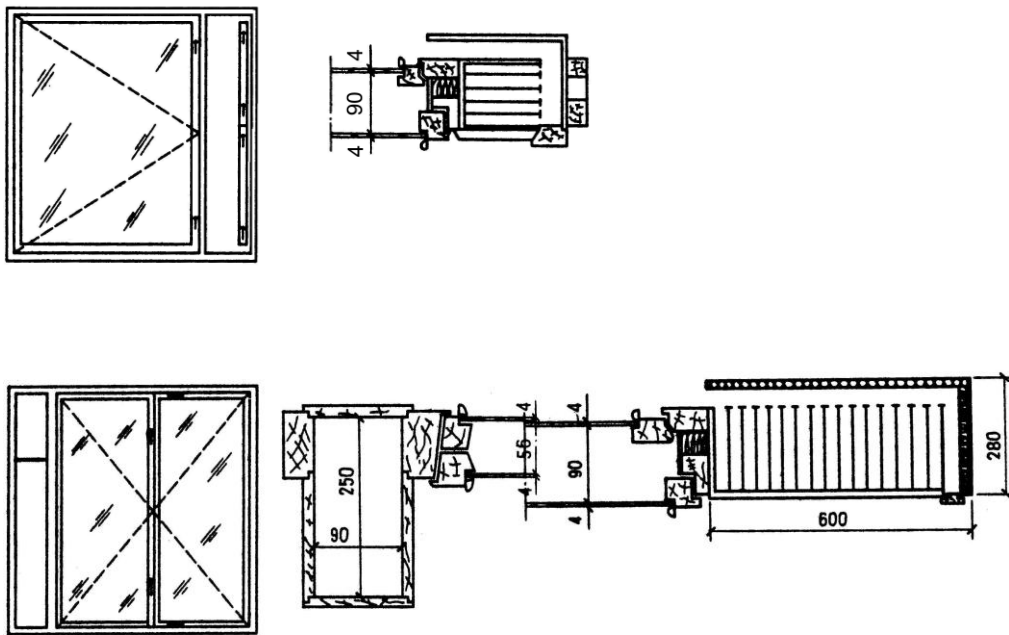


Рис.3. Шумозащитные окна с самостоятельным вентиляционным каналом.

В ассортименте современных шумозащитных проветривателей ведущих европейских производителей имеются системы, позволяющие реализовать разнообразные конструктивные решения с монтажом проветривателя в различных положениях: вертикально и горизонтально в оконном проёме, под подоконником, на стене рядом с окном и др. Однако, в корне своём, **все эти решения имеют принцип разделения функций вентиляции помещения и шумозащитных свойств окна.**

Для иллюстрации утверждений, изложенных выше, имеет смысл проанализировать схему прохождения звука через окно. С точки зрения акустики окно, установленное в оконном проёме является неоднородной конструкцией, состоящей из нескольких элементов, по-разному влияющих на передачу звука в помещение: элементов профильной системы – рамной части и переплётов; стеклопакета и монтажного шва.

При условии хорошего уплотнения окна основная доля проникающего звука приходится на стеклопакет. Передача звука через стеклопакет осуществляется следующим образом (рис.4).

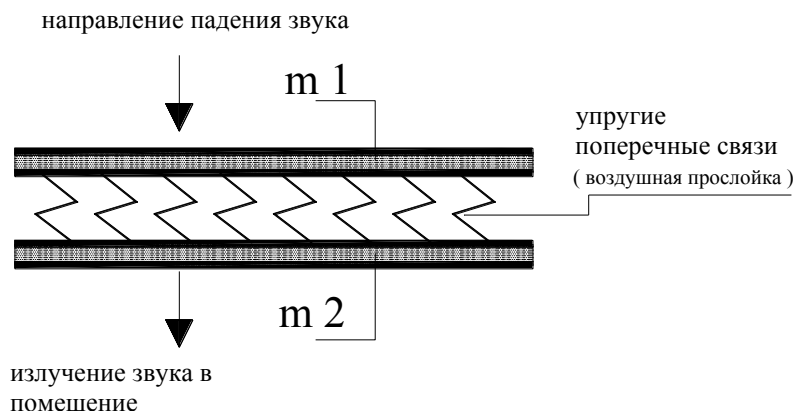


Рис.4. Прохождение звука через стеклопакет.

Звуковые волны падают на наружное стекло, имеющее массу $1 \text{ м}^2 \mathbf{m}_1$, и вызывают в нём колебания. Находящийся в прослойке воздух выполняет роль амортизатора, в

котором эти колебания затухают. Таким образом, на внутреннее стекло с массой $1 \text{ м}^2 \text{ м}_2$, приходит уже ослабленное звуковое воздействие, которое, в свою очередь, возбуждает колебания в этом стекле. Колеблющееся внутреннее стекло излучает звук в помещение.

Как уже отмечалось выше, полностью погасить звуковые колебания такая система не в состоянии; прохождение значительной доли падающего звука в помещение – неизбежно. Современные технические возможности позволяют изменять только характер колебаний стеклянных пластин – изменяя толщину воздушного промежутка между стёклами, а также соотношение их масс, мы можем добиться определённой длины волны звука, излучаемого в помещение внутренним стеклом. Поскольку длина звуковой волны и частота связаны между собой пропорциональной зависимостью (см. уравнение 1), то мы соответственно можем «запрограммировать» определённую частоту звука, излучаемого в помещение, таким образом, чтобы она попадала в диапазон частот, которые человек слышит плохо. В самом примитивном изложении, именно в этом и заключается основная идея проектирования шумозащитного остекления.

Нужно признать, что теоретические основы прохождения звука через герметичную систему – стеклопакет, в нашей стране не разработаны. Весь наш отечественный научный базис заключается в исследованиях, проведённых для оконных блоков с листовым остеклением; которые можно относить к стеклопакетам с весьма грубым приближением. Именно в силу этой причины, сегодня мы не можем с достаточной точностью оценить степень влияния на звукоизоляцию окна площади стеклопакета и его размеров, а также соотношения прозрачной и непрозрачной частей оконного блока. Здесь мы можем полагаться только на результаты лабораторных испытаний в акустической камере, а также на обобщение данных натурного мониторинга конструкций на различных объектах после ввода их в эксплуатацию. Расчётный математический аппарат доступен сегодня только на уровне зарубежных производителей.

Технологии изготовления специальных звукоизолирующих стёкол и стеклопакетов, разработанные зарубежом, позволяют получить очень высокие значения индексов звукоизоляции стеклопакетов, вплоть до $R_w = 38 \text{ дБ}$ [3], что сопоставимо с непрозрачными участками наружных стен (см. табл.3) и достигается в основном за счёт использования в стеклопакете многослойного стёкла со специальным промежуточным слоем – акустической плёнкой. Акустическая плёнка имеет толщину от 1 до 2 мм и является своего рода демфером колебаний, обеспечивающим затухание звуковых волн непосредственно в стекле за счёт трения.

Но даже самые хорошие стеклопакеты с высокими звукоизоляционными характеристиками не гарантируют аналогично высокой звукоизоляции всего оконного блока. Важнейшую роль играют стабильность геометрии и степень уплотнения окна: жёсткость и массивность оконного профиля, равномерность прижима створок к раме по всему контуру элементами периметральной фурнитуры, качество уплотняющих прокладок и материалов заполнения монтажного шва между оконным блоком и стеновым проёмом.

Из всех перечисленных факторов, жёсткость и массивность оконного профиля имеют первостепенное значение. Это определяется двумя факторами. Прежде всего, нужно понимать, что через непрозрачные элементы окна звук передаётся преимущественно по закону массы. Снижение массы погонного метра профиля приводит к общему снижению массы непрозрачной части окна и потере его звукоизолирующих свойств по контуру. Кроме того, применяемые элементы профильной системы должны иметь высокую сопротивляемость к температурным напряжениям, приводящим к выгибу рамных и створочных элементов из плоскости в жаркое лето и суровую зиму и, вследствие этого – к разуплотнению окна.

В любом случае, **все элементы шумозащитного оконного блока должны демонстрировать высокую стабильность рабочих свойств на протяжении длительного эксплуатационного периода.** Из всех параметров, связанных с потерей эксплуатационных свойств окна, звукоизолирующие свойства являются самыми болезненными, поскольку любая сквозная щель ведёт к потере его звукоизолирующих качеств. Иными словами, для **эффективного выполнения своих функций шумозащитное окно должно быть максимально герметичным и сохранять это свойство на протяжении всего расчётного периода эксплуатации.**

Здесь мы вплотную подошли к вопросам проветривания помещений, связанному с применением простых и небольших по размеру приточных устройств, встраиваемых в непрозрачную часть оконного блока (рис.5). В настоящее время на российском рынке существует относительно много предложений подобного типа. Практически все они произведены зарубежом, в лучшем случае, иногда можно встретить воспроизведение аналогов в России. Независимо от производителя, принцип действия и схема монтажа всех таких устройств связаны с частичной разгерметизацией окна, либо за счёт создания прорезей в створочном или рамном элементе, либо за счёт частичной выемки уплотнений. Основное назначение этих устройств - вентиляция околооконного пространства для предотвращения «запотевания» окна в зимний период.



Рис.5. Вентиляционное приточное устройство в составе окна.

Очевидно, что **любая неплотность оконного блока, созданная тем или иным способом, ведёт к снижению его шумозащитных свойств.** Поэтому разработчики таких систем, как правило, стараются включить в их конструкцию своего рода компенсаторы, т.е. элементы, позволяющие смягчить эффект потери звукоизоляции – поглощающие козырьки, заслонки и др., а также по возможности усложнить прохождение звука через устройство, аналогично окнам, показанным на рис.2.

В итоге, мы можем видеть вполне приличные цифры по звукоизоляции, приводимые в рекламных проспектах на подобные устройства. Если заглянуть в зарубежные стандарты на методики испытания этих устройств, то можно увидеть, что приводимые цифры достаточно трудно соотнести даже с окном в закрытом положении. И, соответственно, они никак не связаны с проветриванием помещения в режиме шумозащиты.

Причина путаницы в этом вопросе – нестыковка российских и европейских норм по многим принципиально ключевым позициям. И скажем точнее, – в отсутствии соответствующих российских нормативных документов, и в неосведомлённости отечественных специалистов об их европейских аналогах. В Европе, где преимущественно и производятся все эти изделия, существует целая группа стандартов, регламентирующих методы испытаний как небольших «оконных» приточных устройств, так и непосредственно шумозащитных проветривателей. А методики испытаний, в свою очередь, определяют выходные характеристики, который производитель изделия вправе публиковать как в

сопроводительной технической документации, так и в рекламных материалах. А проектировщик – опять же в соответствии с действующей нормативной базой, - трансформировать эти характеристики на реальные строительные объекты и конструктивные решения.

Что же касается шумозащиты, то здесь не бывает чудес. «Оконные» устройства красиво выглядят, они невелики по размерам. Но звуковая волна падает на них точно также как и на всё окно. Отразить её или изменить длину волны, как это происходит в стеклопакете, в данном случае мы не имеем возможности.

Единственным способом в данном случае является глушение шума, т.е. снижение энергии звуковой волны, на пути её прохождения от источника к объёму помещения. Для длинных волн транспортного шума – это не короткий путь. Именно этим и объясняются относительно большие геометрические размеры шумозащитных проветривателей, принцип действия которых мы рассмотрим ниже. В конце концов, шум от основного его источника, автомобиля, проходит первую стадию глушения непосредственно в самом источнике. Обратите внимание на геометрию автомобильного глушителя – он не маленький и не короткий; мы к этому привыкли и воспринимаем как должное.

Иными словами, «оконные» приточные устройства мы можем рассматривать как некоторую альтернативу щелевому микропроветриванию. С точки зрения защиты от шума, они имеют перед ним определённые преимущества, поскольку, как мы уже отмечали, большинство этих устройств проектируется таким образом, чтобы не нанести большого вреда звукоизоляционным характеристикам закрытого окна. Для стандартных окон, выходящих на внутривортовые территории и небольшие городские улицы это выглядит неплохим решением. Но если мы говорим об окнах, реально подвергающихся воздействию высокой шумовой нагрузки, такие устройства, конечно, не могут решить проблему ни с какой стороны.

Итак, каким же образом может осуществляться проветривание помещений, выходящих окнами на оживлённые транспортные магистрали?

Основным средством для поддержания необходимых гигиенических условий в помещениях жилых и административных зданий, не оснащённых централизованными системами вентиляции и кондиционирования микроклимата, является естественный воздухообмен. Таких зданий у нас в стране подавляющее большинство, за исключением отдельных вариантов дорогого элитного жилья.

Основным нормируемым санитарно-гигиеническим показателем, содержащимся в российских нормативных документах, и определяющим интенсивность вентиляции помещения, является значение кратности воздухообмена. Под кратностью воздухообмена **N** в общем смысле понимается количество воздуха, измеряемое в м³, необходимое для подачи в помещение за единицу времени – 1 час. Соответственно, точно такое же количество воздуха должно за единицу времени удаляться из помещения. Иными словами, для организации проветривания помещения, необходима нормальная работа как приточной, так и вытяжной вентиляции.

В настоящее время в российском жилищном строительстве принимается следующая схема вентиляции квартир. Вытяжка осуществляется естественным путем непосредственно из зоны его наибольшего загрязнения, т.е. из кухонь и санитарных помещений через вентиляционные каналы. Его замещение происходит за счет наружного воздуха, поступающего через окна. Квартира рассматривается в качестве единого объема, в котором воздух перетекает из одного помещения в другое через межкомнатные двери, имеющие подрезку внизу, или находящиеся в открытом положении.

В реальной жизни такая схема срабатывает не всегда, поскольку межкомнатные двери в решении современных интерьеров, как правило, не имеют подрезки. Здесь же можно отметить всевозможные строительные сложности, оказывающие негативное влияние на систему вытяжной вентиляции, вплоть до выхода её из строя. Кроме того, в зимнее время

мы можем наблюдать перегрев помещения, вызванный избыточной мощностью системы отопления.

Однако, в строгом понимании, все эти вопросы не входят в область проектирования шумозащитных окон и смежных с ними проветривающих устройств. **Задачей системы окно + шумозащитный проветриватель является организация притока свежего воздуха без нарушения нормируемых параметров акустического микроклимата помещения.** Хотя, справедливости ради нужно отметить, что современные шумозащитные проветриватели позволяют решить задачу необходимого воздухообмена и в пределах одного помещения при условии применения регулируемых приборов отопления.

Для того, чтобы правильно построить концепцию проветривания помещения в режиме шумозащиты, необходимо понимать, что **требуемые параметры по замещению отработанного воздуха и допустимым уровням звукового давления должны поддерживаться в помещении круглогодично, вне зависимости от времени года и погодных условий.** На беду, это достаточно очевидное положение явно не зафиксировано ни в одном российском нормативном документе. А от Советского Союза мы унаследовали строительно-климатическое деление территории страны, отбрасывающее как факт проблемы эксплуатации помещений в летнее время, если средняя температура июля в районе строительства имеет значение ниже $+ 21^{\circ} \text{C}$. Загляните в действующий СНИП 23-01-99 «Строительная климатология», и вы увидите, что большинство городов Российской Федерации находятся севернее этой черты.

Этим и объясняется упор на проектирования всех конструкций, в том числе и являющихся предметом нашего рассмотрения, исключительно исходя из зимних условий эксплуатации. Что получается в итоге?

В зимнее время естественный перенос воздуха в здании осуществляется под действием разности давлений внутреннего и наружного воздуха, возникающей вследствие перепада температур или под действием ветра. В летнее время значения температуры воздуха снаружи и внутри помещения близки между собой. Соответственно, и все приточные приборы, рассчитанные на работу за счёт естественной разницы давлений, в летнее время теряют свой смысл. По данным отечественных исследований [2], требуемый воздухообмен в помещении за счёт естественной разницы давлений будет создаваться при температуре наружного воздуха ниже $+ 13^{\circ} \text{C} \dots 15^{\circ} \text{C}$, при более высокой температуре нужно подключать устройства механического побуждения – вентиляторы. Если сделать некоторую корректировку на неисправности в работе вытяжных систем, то реальные «рабочие» значения температур для приборов с естественным побуждением, будут ещё ниже. Кроме того, такие факторы как этажность здания, наличие «тёплого» или «холодного» чердака, расположение наветренного и подветренного фасадов и др., в значительной степени усложняют прогнозирование нормальной работы приточных устройств, предназначенных для работы под действием естественной разницы давлений.

Таким образом, исходя из всех изложенных соображений, мы можем сформулировать требования к проветривающему устройству для осуществления круглогодичного притока свежего воздуха в помещение, подвергающегося воздействию интенсивной шумовой нагрузки.

Прежде всего, конструкция такого устройства должна предусматривать возможность установки вентилятора для организации притока воздуха в летнее время. Кроме того, она естественно, должна обеспечивать эффективное глушение звуковых волн. Сюда же можно добавить и общестроительные требования: удобство монтажа и технического обслуживания, хорошие эстетические качества и долговечность. Немаловажным положительным качеством шумозащитных проветривателей является возможность установки различных фильтров, очищающих поступающий наружный воздух от загрязнения парами бензола, автомобильными выхлопами и др.

Каким образом осуществляется глушение звуковых волн? На рис.6 показаны несколько вариантов принципиальных схем шумозащитных проветривателей. Независимо от конструктивного решения, в них реализуется единый принцип снижения энергии звуковой волны; конструкция проветривателя определяет только степень этого снижения, она естественно, должна быть различной для разного уровня шумовой нагрузки. Очевидно, что нет смысла пользоваться единой схемой проветривателя для оживлённой улицы городского значения и скоростной автомагистрали; шумовая нагрузка здесь отличается на порядок, а неоправданные экономические затраты никому не нужны.

Немаловажным экономическим фактором может служить и этажность здания, поскольку наибольшие уровни транспортного шума, как правило, наблюдаются на высоте 3-5 этажей, а интенсивность шумовой нагрузки на верхние этажи здания значительно снижается за счёт затухания звуковых волн в воздухе.

Соответственно, тип проветривателя должен подбираться квалифицированным специалистом, исходя из реальной строительной ситуации: уровня внешнего шума, требуемой кратности воздухообмена в помещении, архитектурных требований к фасадам и интерьерам, типа здания (вновь возводимое или реконструируемое), специальных экологических требований к помещению по составу воздуха (больницы, детские сады, родильные дома и др.).

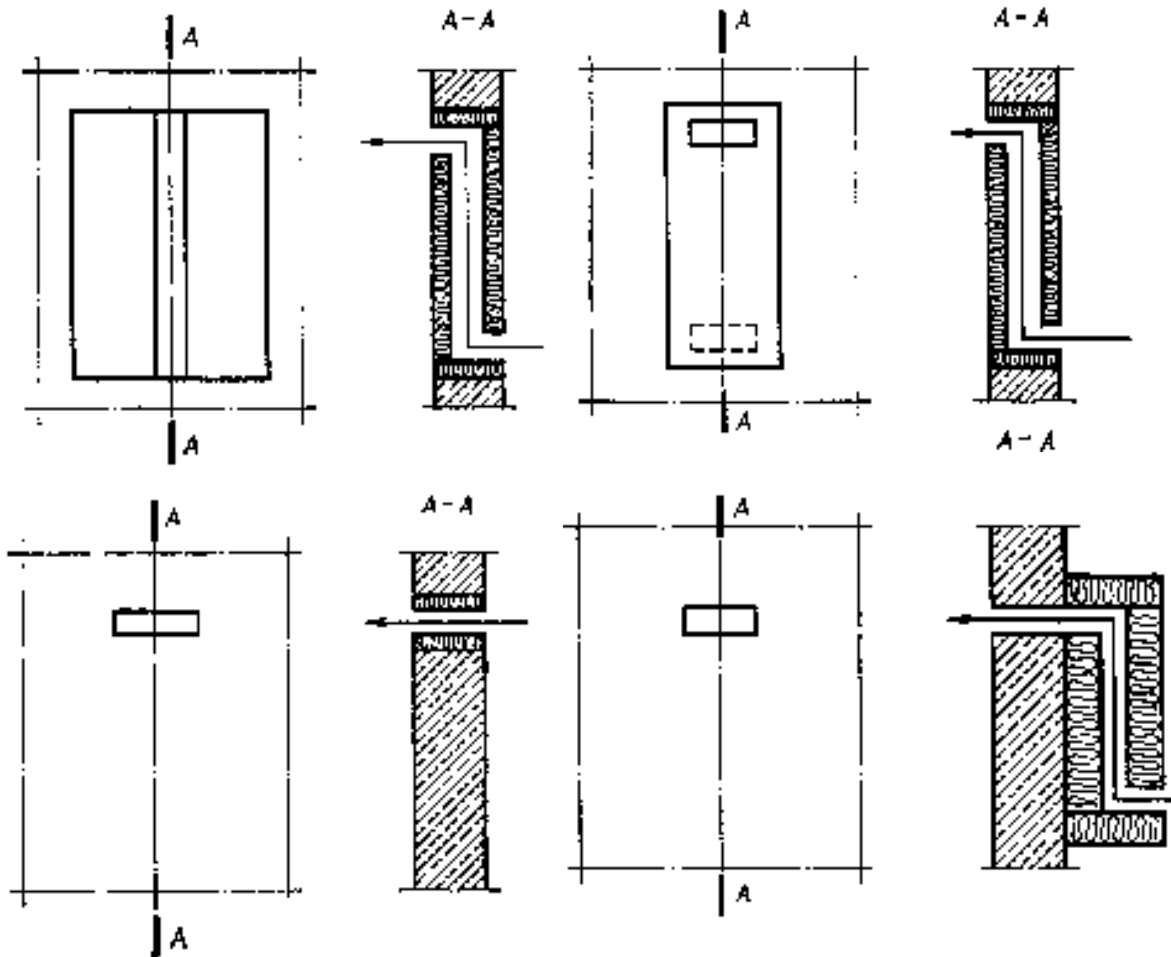


Рис. 6. Классификация шумозащитных проветривателей по конструктивному решению.

1 – окно с встроенным вентиляционным элементом, 2 – самостоятельный вентиляционный элемент, образующий фрагмент наружной стены, 3 – самостоятельный вентиляционный элемент в виде заглушенного канала, проходящего перпендикулярно поверхности наружной стены, 4 – самостоятельный вентиляционный элемент, приставляемый к наружной стене.

Снижение звуковой энергии, проходящей через шумозащитный проветриватель в помещение, осуществляется при движении звуковой волны по воздушным каналам, формируемым звукопоглощающими материалами и имеющим на пути прохождения волны повороты и переменное сечение. При движении звуковой волны по каналу общее количество энергии, которое она несёт, уменьшается. Это происходит за счёт перехода энергии звуковых волн в теплоту за счёт трения и наличия реактивного сопротивления в канале, возникающего на при возникновении препятствий на пути движения волны - поворотах и смене сечения. Таким образом, с точки зрения техники, шумозащитный проветриватель представляет из себя классический глушитель, путь прохождения звуковых волн в котором целенаправленно проектируется для снижения энергии волн определённой длины и, соответственно, для заглушения шума определённых частот. Так, шум автотранспорта, железнодорожных магистралей и самолётов вблизи аэропортов имеют различный частотный спектр, соответственно и глушители шума для этих разных задач должны проектироваться по разному. Одна из возможных схем прохождения звуковой волны через шумозащитный проветриватель показана на рис.7.

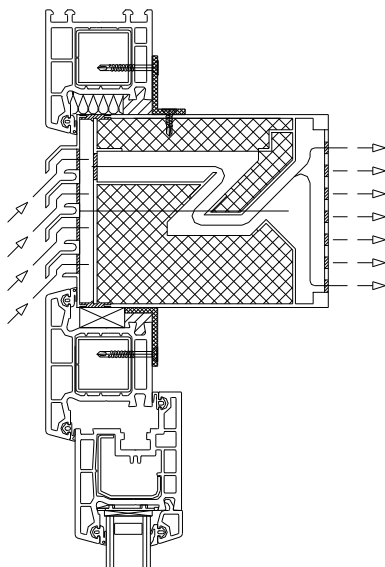


Рис.7. Вариант прохождения звуковой волны через шумозащитный проветриватель.

Одним из самых сложных моментов в разработке шумозащитных проветривателей является выбор материала звукопоглотителя. Он должен подбираться самым тщательным образом, поскольку к нему предъявляется целая группа требований: высокое звукопоглощение в требуемом диапазоне частот; негорючесть и экологическая безвредность для здоровья человека, желательно – возможность фильтрации вредных выбросов; стабильность свойств при действии воздушного потока; долговечность и др.

Звукопоглотитель не должен быть продуваемым. С наружной стороны, где возможен осадок масляных паров от автомобильных выхлопов, поглотитель обычно имеет слой плотной защитной плёнки, однако её плотность не должна превышать определённого предела, после которого через неё будет затруднено проникновение воздуха для вентиляции.

Толщина поглощающего слоя, его пористость должны обеспечивать высокое звукопоглощение в требуемом диапазоне частот. Чем ниже частота, на которой должно происходить поглощение, тем толще и рыхлее должен быть поглощающий слой. Соответственно, проветриватель, предназначенный для глушения низкочастотного транспортного шума, должен иметь в своей конструкции относительно толстые слои звукопоглотителя, порядка 30-100 мм в зависимости от материала.

Такие конструктивные элементы проветривателя как геометрия звукогасящих каналов, тип применяемого звукопоглотителя, сечение входных и выходных отверстий для воздуха, размер корпуса и общая масса изделия и т.п. представляют из себя элементы единой акустической системы, работающей в комплексе и представляющей собой интеллектуальную собственность производителя.

Тип проветривателя должен подбираться для каждого помещения совместно с окном, независимо от способа установки проветривателя (даже если принимается вариант пристенного проветривателя). В любом случае, при прогнозировании акустического микроклимата помещения, должна учитываться совместная работа системы окно + проветриватель, поскольку они являются «слабыми местами» в наружной стене, через которые внешний шум проникает в помещение.

Литература.

1. «Защита от шума в градостроительстве. Справочник проектировщика». Под ред. Осипова Г.Л., М., СИ, 1993.
2. Осипов Г.Л., Юдин Е.Я., Хюбнер Г. и др. «Снижение шума в зданиях и жилых районах». М., СИ, 1986.
3. “Gestalten mit Glass”, INTERPANE GLAS INDUSTRIE AG, 1997.