



**PILKINGTON**  
NSG Group Flat Glass Business

# Защита от шума при помощи стекла

## Технический бюллетень

---

### Введение

Когда вы в воскресенье отдыхаете дома, почитывая интересную книгу, или уютно устроились в кровати перед сном, или находитесь на работе, стараясь сосредоточиться, вам мешают шумные соседи, транспорт или другой нежелательный шум. Мы все, так или иначе, когда-нибудь страдали от шума.

Плотность населения постоянно растет наряду с увеличением промышленного производства и транспорта. Шум кажется все сильнее, а возможностей скрыться от него становится все меньше. По мере увеличения факторов шума, растет и сознание того, какое воздействие на здоровье оказывает стресс, вызванный ежедневным шумом, проникающим в когда-то тихое пространство. Современные тенденции свидетельствуют о том, что транспортный поток и шум увеличатся по мере сокращения жизненного пространства. Огромный интерес проявляется в отношении способов защиты людей от шума, чтобы избежать значительного стресса, который он вызывает, а в некоторых случаях и серьезных заболеваний.

Была проделана большая работа в отношении защиты от проникновения шума в здания и между соседними помещениями. Так как информация об этом является полезной, мы бы хотели обратить ваше внимание на то, как правильный выбор стекла может помочь в решении данной проблемы.

### Что такое звук?

С физической точки зрения звук относится к области волновой физики / механических колебаний. Еще 2000 лет назад римский архитектор, занимающийся строительством амфитеатров, использовал водяные волны для совершенствования своего проекта.

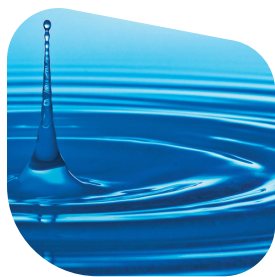


Рисунок 1: Звук распространяется подобно волнам в воде

Например, если стукнуть по камертону, мы услышим колебания, но не увидим их. Колебания камертона передаются молекулам воздуха, которые, в свою очередь, передают их другим молекулам воздуха. Такое же поведение наблюдается и в воде. Эти колебания можно сравнить с волной в воде, причем высота волны является мерой интенсивности звука, а количество волн за промежутков времени является частотой

звука, т. е. чем больше волн, тем выше частота. Частота определяется как количество колебаний в секунду и измеряется в Герцах (Гц).

В музыке нота Ля (ближайшая Ля выше средней До) имеет частоту 440 Гц или 400 колебаний в секунду при концертной настройке. Если увеличить частоту вдвое, до 880 Гц, нота повышается на октаву для равномерно темперированной настройки.

Ухо молодого человека может улавливать частоты от 20 до 20 000 Гц и давление звука, или, точнее, колебания давления, от  $10^{-5}$  паскалей (Па) = 0,00001 (нижний порог слышимости) до  $10^2$  Па = 100 Па (болевой порог), передавая их в мозг в виде ощущений интенсивности звука. С возрастом диапазон воспринимаемых частот сокращается с обоих концов шкалы естественным образом или из-за нарушений слуха.

Соотношение между самым тихим и самым громким шумом равно 1 к 10 миллионам. Так как это очень большой диапазон, на практике уровень звукового давления, или, проще, уровень звука L измеряется в логарифмической шкале и выражается в децибелах (дБ). В диапазон шкалы входят значения от 0 дБ (порог слышимости) до примерно 130 дБ (болевой порог). На рисунке 3 показано несколько примеров.

Существует несколько способов создания шума, и каждый шум характеризуется различной высотой и частотой звука. Если взять для примера самолеты, существует четкое различие в звуке, производимом пропеллерным самолетом, современным самолетом с турбовентиляторным двигателем и военным самолетом. Если зависимость высоты от частоты изобразить в виде графика, графики бы выглядели совсем по-разному. В борьбе с шумом нужно иметь в виду эти различия, и разные типы стекла работают лучше при определенных частотах. Подбирая различные стекла, можно выборочно приглушить самые раздражающие звуки. Люди, живущие рядом с частной взлетной полосой для малогабаритных самолетов, сталкиваются с проблемами, отличными от тех, с которыми сталкиваются люди, живущие рядом с военной базой. Решить проблему с шумом можно путем выбора другой конфигурации стекла или стеклопакета.

Определить уровень шума можно несколькими способами. Для больших или сложных проектов можно заказать исследование уровня шума на месте с привлечением акустических консультантов, использующих чувствительное оборудование для измерения среднего уровня шума путем вычисления

### Определение частоты

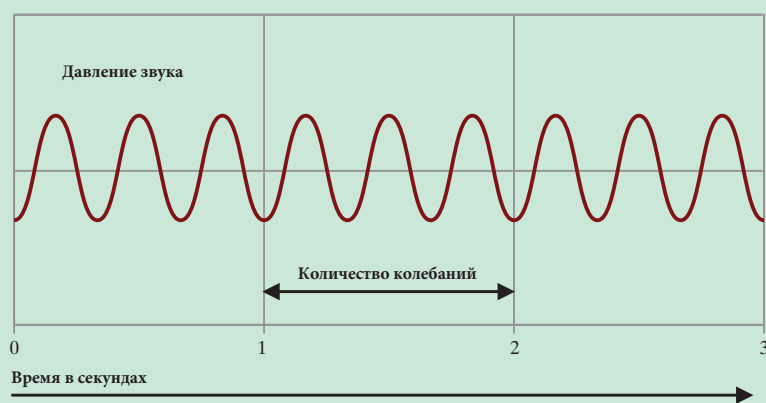


Рисунок 2: Определение частоты



Рисунок 3: Источник и восприятие шума (источник: компания Курарей, г. Тройсдорф, Германия)

частоты колебаний за период. Такие исследования предоставляют точные данные об интенсивности шума для каждой частоты, которую нужно ослабить. Информация часто предоставляется в виде отчетов, в которых шум отражен в виде таблицы октавных полос частот, например:

Частота [Гц]	125	250	500	1000	2000	4000
Давление звука [дБ]	30	36	42	44	48	50

Звук может быть измерен непосредственно на объекте, например, на стройплощадке, или вблизи от источника шума. Если измерение на объекте не проводилось, величину звука можно скорректировать с поправкой на расстояние. Чем дальше вы от источника шума, тем меньшее воздействие он оказывает.

#### Пример: Снижение шума с увеличением расстояния

Шум от дорожного транспорта снижается примерно на 3 дБ при увеличении расстояния вдвое под прямым углом к дороге. Если, например,  $L$  – это уровень шума в дБ на расстоянии 5 метров, то снижение шума будет происходить следующим образом:

5 метров	$L$	дБ
10 метров	$(L-3)$	дБ
20 метров	$(L-6)$	дБ
40 метров	$(L-9)$	дБ
80 метров	$(L-12)$	дБ
160 метров	$(L-15)$	дБ

Уровень шума часто измеряется за период времени с вычислением среднего значения, чтобы убрать непропорциональный эффект изолированного громкого шума, который является исключением, как, например, звук автомобильного гудка. Можно определить средний уровень энергии шума (т.е. долговременное среднее значение), нормированный на стандартный звуковой спектр «А», называемый "уровень день-вечер-ночь" ( $L_{двн}$ ). Именно уровень шума  $L_{двн}$  должен браться за основу при проектировании, а не изолированные пиковые показатели. Таким образом, целью проектировщика должно быть снижение величины характерного шума, а не его пиковых показателей. В некоторых случаях имеет смысл использовать уровень шума,

померенный, например, только в дневной или вечерний период, или ввести дополнительный показатель для кратковременного шума.

Оборудование для измерения шума иногда позволяет регистрировать данные, уже нормированные на стандартный спектр «А». Например, если задается величина шума внутри помещения, то она часто выражается в дБ(А) или  $L_{Aeq}$ . Нормирование по шкале «А» представляет собой корректировку шума по каждой частоте в соответствии со стандартной кривой, представляющей собой кривую чувствительности человеческого уха. Нормирование по шкале «А» осуществляется потому, что человеческое ухо не реагирует одинаково на одну и ту же интенсивность звука при разных частотах, т.е. звук при некоторых частотах субъективно кажется громче, чем при других, даже если распространяется с одинаковой энергией. Важно то, что измерение проводится с учетом человеческой реакции на шум, а не на основе показаний чувствительных приборов, выдающих абсолютные значения звука.

Если исследование не проводится, то используются данные предыдущих исследований, которые позволяют проектировщикам брать для расчетов типичные уровни шума, исходящего от общеизвестных источников, например дорожного транспорта, музыки, речи, поездов, самолетов и т.д.

Если данные о третьей октаве или октавных полосах отсутствуют, можно использовать ряд условных выражений для описания шума. Как правило, для сокращенного обозначения можно использовать показатели  $R_w$  и  $R_{ин}$ . В отношении характеристик стекла эти показатели определяются путем математического сравнения кривых на графике ослабления звука в зависимости от частоты со стандартными кривыми, пока не будет найдено соответствие. Снижение шума при фиксированной частоте на стандартных кривых дает значение показателей  $R_w$  и  $R_{ин}$ .

Если уровень шума известен, характеристики стекла можно подобрать так, чтобы получить нужный уровень остаточного шума. Важно, чтобы индексы измерений совпадали, или находились в одной шкале для обеспечения правильности вычислений.



Рисунок 4: Определение уровня звукоизоляции

\* ранее известно как Pilkington Optilam™ Phon

Для тех, кто хочет «копнуть поглубже»

Померенные значения для стекла 10 мм Pilkington Optifloat™ – 16 мм воздушная прослойка – 9,1 мм Pilkington Optiphon™\* выделены синим цветом. Эталонная кривая, указанная в стандарте EN 717, раздел 4, выделена красным цветом. Данная эталонная кривая смещается вниз с шагом в целых децибелах, пока сумма отклонений измеренных значений от смещенной эталонной кривой не станет максимальной, но меньше 32 дБ. Учитываются только измеренные значения, которые меньше эталонных значений. Значение по оси Y смещенной эталонной кривой (зеленая кривая на рис. 4) при частоте 500 Гц является искомым значением  $R_w$ , в данном примере 45 дБ.

К сожалению, вышеуказанное соотношение между амплитудой звукового давления и субъективно воспринимаемой громкостью не такое простое, как хотели бы ученые, так как природа сделала наш слух более чувствительным к одним диапазонам, чем к другим. Это значит, что мы воспринимаем тон в тысячу Гц, как более громкий, чем тон в сто Гц, хотя их интенсивность одинаковая. Данное свойство человеческого уха отражается в форме эталонной кривой.



Рисунок 5: Сравнение звукоизоляции двух стеклопакетов

#### Определение звукоизоляции разных типов стекла

Так как измерение каждой системы на месте занимает очень много времени и подразумевает большие расходы, все спектры звукоизоляции регистрируются в стандартных условиях (синяя линия на рисунке 4). Как вы видите, величина звукоизоляции сильно зависит от частоты. Во избежание работы с полным набором данных данную диаграмму можно сократить до одного значения. Стандартизованная процедура расчета описана в рамке выше. В результате получается одно число (в данном случае  $R_w = 45$  дБ), которое можно использовать в последующих вычислениях.

Недостатком подобных вычислений с использованием одного числа является то, что мы можем получить один и тот же результат при совершенно разных формах кривых, как показано на рисунке 5.

Более точное описание с использованием одного значения можно получить с применением специальных эталонных кривых, отвечающих конкретным требованиям.

Такими "особыми случаями" являются поправочные коэффициенты  $C$  и  $C_{tr}$ . Они учитывают разные частотные спектры шума жилых территорий и дорожного движения, позволяя легко найти адекватные решения проблем.

Значение  $C$  учитывает следующие источники шума:

- Деятельность в жилых районах (разговоры, музыка, радио, ТВ)
- Играющие дети
- Средняя и высокая скорость движения железнодорожного транспорта
- Движение на автострате > 80 км/ч
- Реактивные самолеты на небольшом расстоянии
- Предприятия, производящие преимущественно средне- и высокочастотный шум

Значение  $C_{tr}$  учитывает такие источники шума, как:

- Городское дорожное движение
- Низкоскоростное железнодорожное движение
- Пропеллерные самолеты
- Реактивные самолеты на большом расстоянии
- Диско-музыка
- Предприятия, производящие преимущественно низко- и среднечастотный шум

Таким образом, если здание расположено в городе, непосредственно рядом с оживленной автодорогой, значение  $C_{tr}$  является наиболее подходящим. Если здание планируется разместить за городом рядом со скоростной автостратой, более подходящим будет значение  $C$ .

### Правила вычислений

Использование шкалы децибел дает нам удобные для восприятия цифры звукоизоляции, однако, при этом существуют определенные «особенности вычислений». Например, если количество источников шума удвоить, то общее значение дБ увеличится всего на 3 дБ. Десятикратное увеличение количества источников шума (например, десять электровентиляторов вместо одного) вызывает увеличение суммарного уровня шума всего в два раза, т.е. на 10 дБ.

Для формирования полной картины следует также отметить, что снижение уровня шума вдвое не воспринимается ухом как снижение громкости вдвое. В общем, справедливо то, что:

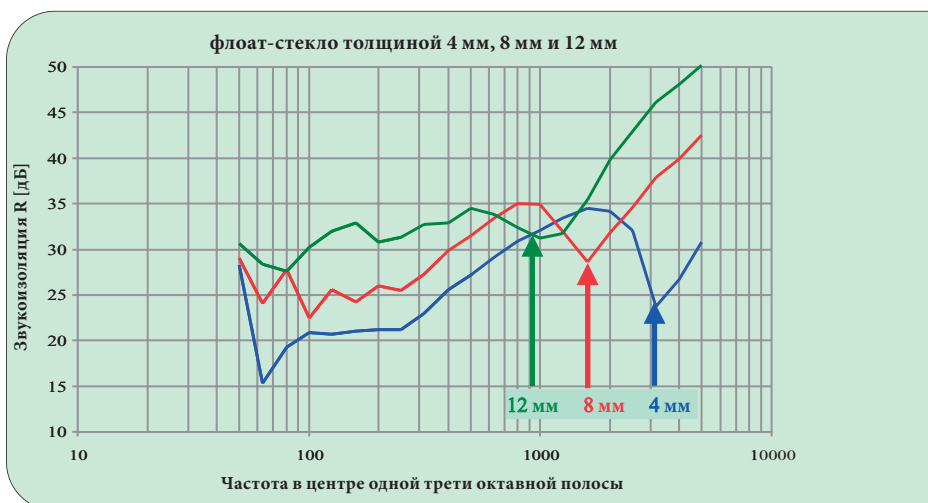
- Разница в 1 дБ практически незаметна
- Разница в 3 дБ едва ощущается
- Разница в 5 дБ четко ощущается
- Разница в 10 дБ снижает / увеличивает шум вдвое.

### Различные типы звукоизоляции

#### Масса

Как было указано выше, звук распространяется волнами, вызывая колебания молекул соответствующей среды (например, воздуха). Благодаря такому способу передачи, шум подвержен естественному затуханию, в зависимости от массы среды. Проще говоря, чем больше массы находится между передатчиком и приемником, тем сильнее выражено затухание.

Таким образом, самым простым способом повысить звукоизолирующие свойства остекления - это использовать много стекла. Так, одинарное 12-миллиметровое стекло имеет показатель  $R_w$  равный 34 дБ, тогда как соответствующим значением для 4-миллиметрового стекла будет всего 29 дБ.



Если сравнить спектры флоат-стекла толщиной 4 мм, 8 мм и 12 мм, мы увидим, что каждый из этих спектров имеет локальный минимум в правой части шкалы.

Рисунок 6: Влияние толщины стеклянной панели на синхронную частоту

Такой спад коэффициента звукоизоляции происходит на определенной частоте, называемой синхронной частотой, которая совпадает с собственной частотой колебаний данного стекла. Так называемая синхронная частота зависит от природы материала и в случае стекла зависит от его толщины. На практике принято считать:

$$f_g = \frac{12000 \text{ Гц}}{d}$$

(где  $d$  = толщина материала)

Согласно этой формуле  $f_g$  равно 3000 Гц для флоат-стекла толщиной 4 мм, 1500 Гц для флоат-стекла толщиной 8 мм и 1000 Гц для флоат-стекла толщиной 12 мм, что соответствует спектрам на рисунке 6.

Для решения этой проблемы можно сочетать в стеклопакете стекла разной толщины с разными синхронными частотами колебаний, которые не перекрываются на спектре. Таким образом, такие асимметричные структуры могут значительно сократить спад коэффициента звукоизоляции в области синхронных частот, как показано на рисунке 7. Разница по толщине в 30% является желательной. Это не только сокращает спад, но и сдвигает локальный минимум в область высоких частот, где стекло работает как звукоизолятор намного эффективнее.

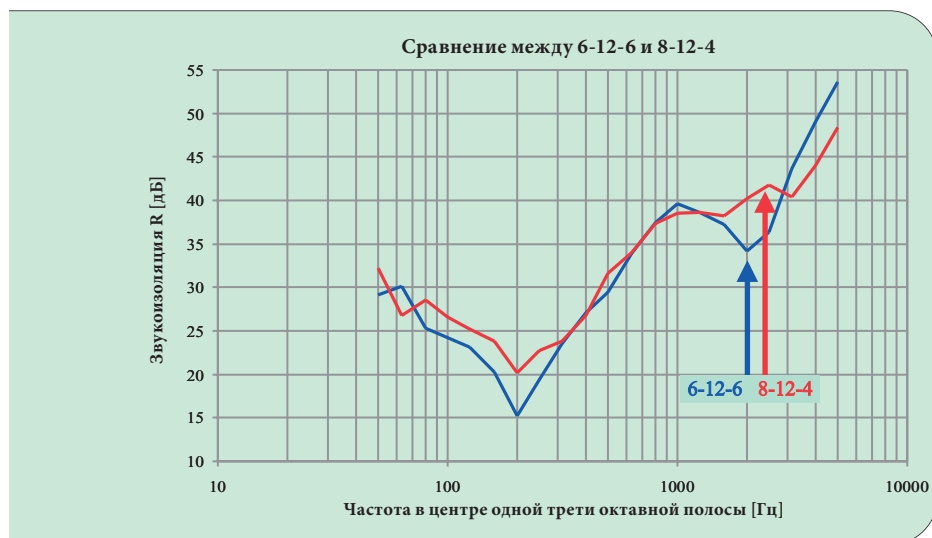


Рисунок 7: Спектр звукоизоляции двух стеклопакетов одинаковой толщины

#### Межстекольное расстояние / газонаполнение

Другим способом контроля передачи шума является варьирование расстояния между стеклами. В стандартных стеклопакетах межстекольное расстояние подбирается в целях увеличения теплоизоляции, и его величина недостаточна для заметного улучшения акустических характеристик. Наличие двойной рамы позволяет создавать относительно большие воздушные полости, и межстекольное расстояние больше 60 мм значительно улучшает акустические характеристики конструкции. Пространство между стеклами можно заполнить звукоизолирующими материалами для лучшего эффекта.

Газонаполнение в стеклопакете не оказывает заметного влияния на звукоизоляцию, таким образом, использование аргона не дает практических улучшений. Благодаря большей плотности криптона, можно достичь небольшого улучшения акустических характеристик - до 1 дБ. Гексафторид серы (SF<sub>6</sub>) можно использовать для звукоизоляции просто потому, что он тяжелый, однако этот газ имеет ряд недостатков. Во-первых, он снижает показатель теплоизоляции, а во-вторых, имеет CO<sub>2</sub> - эквивалент 22800, тем самым значительно способствуя созданию парникового эффекта. Кроме того, этот газ горючий. По этим причинам использование

SF<sub>6</sub> запрещено в большинстве стран Европы.

#### Расщепление / демпфирование

Мы говорили, что толщина стекла и варьирование стекол разной толщины в стеклопакете способствует повышению звукоизоляции. Увеличение толщины стекла или расширение воздушных прослоек может оказаться нежелательным из соображений толщины и веса конструкции. К счастью, существуют способы улучшения шумоизолирующих свойств относительно тонких стекол за счет эффекта демпфирования. Путем ламинирования стекла с использованием обычного поливинилбутирала можно сократить спад коэффициента звукоизоляции на синхронной частоте и сдвинуть эту частоту в высокочастотную область. Добавление в конструкцию ламинированного стекла Pilkington **Optilam**<sup>™</sup> может вызвать значительное улучшение величины звукоизоляции, особенно в случае высокочастотного шума в области синхронной частоты. Стеклопакеты дают очень хороший эффект при сочетании монолитного стекла (Pilkington **Optifloat**<sup>™</sup>) и стекла Pilkington **Optilam**<sup>™</sup>.

Более высоким техническим требованиям соответствует серия стекол Pilkington **Optiphon**<sup>™</sup>. В этих продуктах используются ламинированные прослойки, которые как бы расщепляют два листа стекла, тем не менее, сохраняя ударостойкость ламинированного стекла. Если посмотреть на спектр звукоизоляции стекла Pilkington **Optiphon**<sup>™</sup>, вы увидите, что спад в области синхронной частоты почти устранен. Можно выбрать определенный тип стекла в соответствии с профилем звука, что позволит повысить звукоизоляцию без значительного увеличения толщины стекла. Это обеспечивает широкие возможности при проектировании без ущерба для других функций остекления.

В левой части спектров наблюдается еще один локальный минимум. Он приходится на так называемую резонансную частоту. Это частота, на которой разные стекла в стеклопакете начинают колебаться как единое целое (т.е. в резонансе), значительно снижая величину звукоизоляции.

Звукоизоляцию можно улучшить, сдвинув резонансную частоту в другую область частот (дальше от мешающей частоты или в область, где человеческое ухо хуже слышит). Это достигается за счет "расщепления" стекла, делая его одновременно плотным и в то же время мягким. Для этого два листа стекла соединяются при помощи специальной (мягкой) смолы или современных поливинилбутиральных пленок, разработанных специально для таких целей.

### Важное напоминание

Целью выбора правильного акустического продукта является повышение комфортабельности внутренней среды, свободной от стресса, вызываемого проникновением шума. Уровень остаточного или фонового шума не одинаков для разных типов помещений, и для большинства из них разработаны специальные требования, отраженные в различных строительных нормативах. Например, в библиотеке фоновый шум должен составлять не более 30 дБ, а уровень шума в спальне будет отличаться от уровня шума в гостиной. Нулевой уровень шума нежелателен и обычно присутствует только в беззвоных камерах, предназначенных для лабораторных испытаний. Нулевой уровень шума вызывает неприятные ощущения, так как ухо настраивается на другие звуки, которые начинают раздражать. Получается такое уравнение:

Источник шума – коэффициент звукоизоляции конструкции = остаточный шум

Заметьте, что в обеспечении звукоизоляции участвует все здание, и что одно стекло не решит всех проблем, связанных с шумом. Звуку достаточно маленькой щелочки, чтобы проникнуть в здание, в отличие от потери или притока тепла, которые пропорциональны площади поверхности. Для снижения уровня шума на 35 дБ за счет стекла оконная рама без вентилятора должна обеспечивать такую же защиту. Для более высоких результатов оконные рамы, разработанные для шумоизоляции, не должны уступать по эффективности защите стеклу, чтобы вся конструкция работала.

### В заключение

Существует пять факторов, сочетание которых может положительным образом сказаться на звукоизоляционных характеристиках остекления:

1. Толщина стекла
2. Асимметричная структура
3. Большое межстекольное расстояние
4. Использование газонаполнения
5. Применение специальных ламинированных звукоизолирующих стекол Pilkington **Optiphon™**.

В условиях повышенных требований к звукоизоляции современное звукоизоляционное ламинированное безопасное стекло, такое как Pilkington **Optiphon™**, получает все большее распространение по сравнению с продуктами, использующими заливную смолу, так как оно позволяет достичь значений показателя  $R_w$ , превышающих 50 дБ, и может иметь большие размеры. Сочетаемость поливинилбутирала с други-

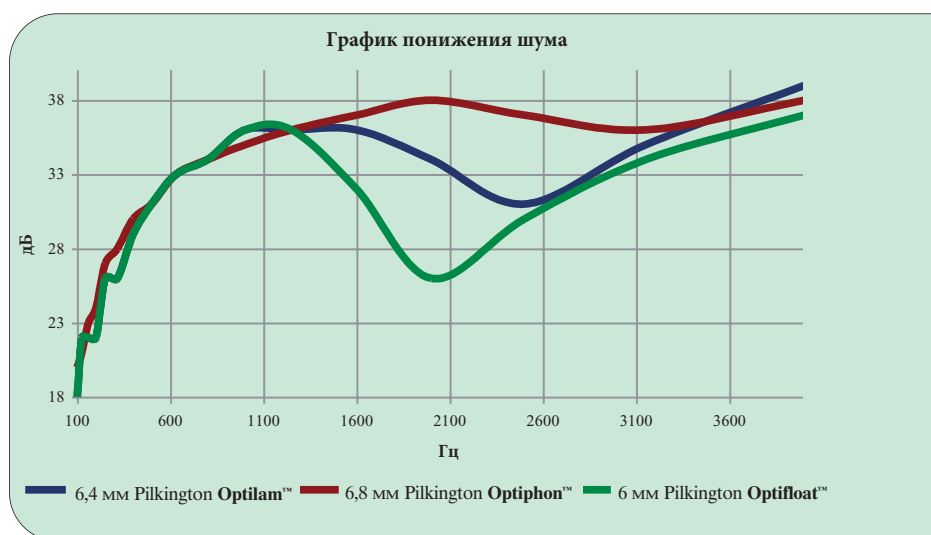
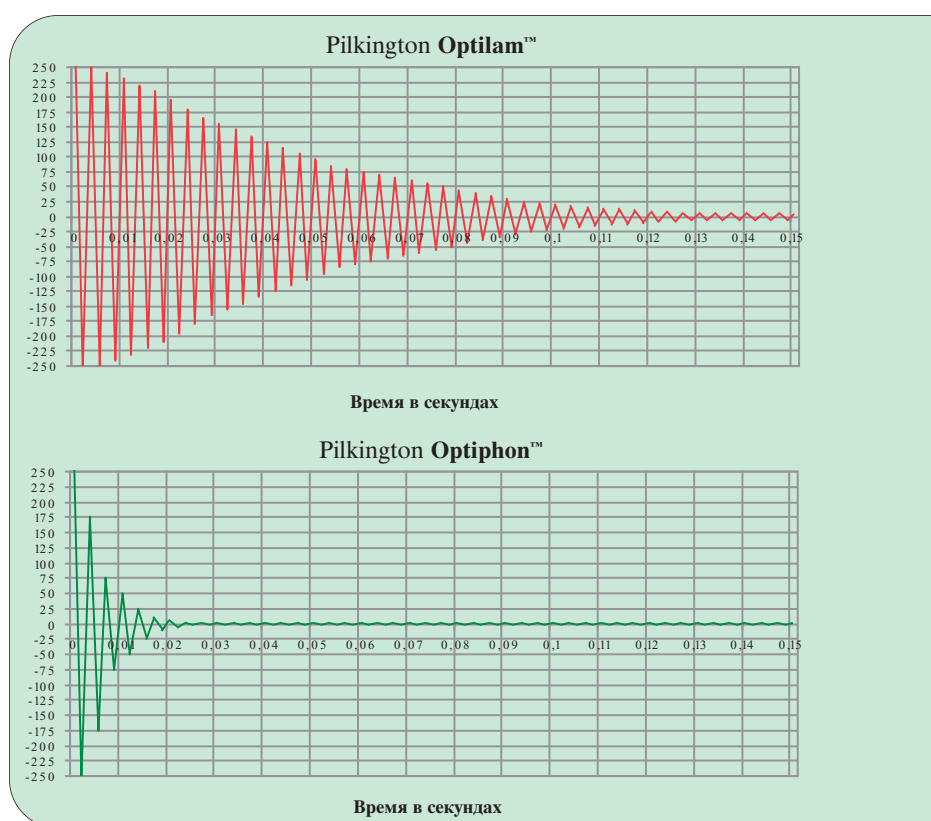


Рисунок 8: Иллюстрация снижения шума



ми материалами хорошо известна, и можно достичь таких преимуществ, как ударостойкость / более безопасное остекление, например, крыш и зенитных фонарей.

Рисунок 9: На рисунке показана впечатляющая разница в уровне демпфирования между Pilkington **Optilam™** и Pilkington **Optiphon™** с точки зрения акустики.

*Хотя этот документ был подготовлен и опубликован с надлежащей добросовестностью, тем не менее настоящим Pilkington Group Limited снимает с себя всю ответственность за любую ошибку или какое-либо упущение в данной публикации, а также за все последствия, связанные с использованием изложенной в ней информации.*



**PILKINGTON**  
NSG Group Flat Glass Business

**ООО "Пилкингтон Гласс"**

Тел. (495) 980-50-27, факс (495) 980-50-28

[info@pilkington.ru](mailto:info@pilkington.ru)

[www.pilkington.ru](http://www.pilkington.ru)