

## Мониторинг шума и вибрации. Опыт применения

В 2007 году группа «Октава-ЭлектронДизайн» выполнила несколько проектов по проведению долгосрочных автоматизированных измерений шума и вибрации с использованием приборов серии ОКТАВА-110. Далее мы расскажем о некоторых результатах этих измерений.

### МНОГОМЕСЯЧНЫЙ МОНИТОРИНГ ШУМА И ВИБРАЦИИ В ПОМЕЩЕНИЯХ ВЫСТАВОЧНОГО КОМПЛЕКСА

**Целью данных измерений** было получение многодневных данных для последующего проектирования реконструируемых помещений. По характеру исследуемых процессов описываемая задача близка к оценке коммунальных шумов и вибраций.

**Место проведения измерений:** старинное здание в центре Москвы, два помещения галереи второго этажа, окна которых выходили в атриум. На первом этаже атриума располагается выставочный зал.

**Измерительные точки:** В каждом помещении проводились измерения уровней звука и вибрации.

Измерительные микрофоны в обоих помещениях выносились внутрь атриума на 1,5 м от фасада с помощью удлинительных штанг.

В первом помещении вибрация измерялась на полу в вертикальном направлении.

Во втором помещении вибрация измерялась на стене в направлении перпендикулярном поверхности стены.

Измерительное и регистрирующее оборудование: измерения вибрации проводились прецизионными приборами ОКТАВА-110А, к которым присоединялись вибропреобразователи АР98-100 чувствительностью 100 мВ/г; измерения шума проводилась приборами ОКТАВА-110А с микрофонами ВМК-265 чувствительностью 50 мВ/Па.. Регистрация данных проводилась в автоматическом режиме с помощью пакета программ 110\_DM «Диспетчер данных» на портативный компьютер-ноутбук.



**Время проведения замеров:** Измерения проводились непрерывно в течение 4 месяцев:

Начало: 18.10.2006

Окончание: 18.02.2007.

#### Регистрируемые параметры

**Вибрация:** Посекундная временная история среднеквадратичных уровней виброускорения и виброскорости в октавных полосах частот 31,5 Гц – 16000 Гц и в 1/3-октавных полосах частот 25 Гц – 20000 Гц, а также общего уровня виброскорости. Автоматическая регистрация событий, при которых общий уровень виброускорения превышал 0,02 мм/с.

**Шум:**



а) Временная история уровней звука в дБА и уровней звукового давления в октавных полосах частот 31,5 Гц – 16000 Гц и в 1/3-октавных полосах частот 25 Гц – 20000 Гц; шаг записи 3 с.

б) Автоматическая регистрация событий, при которых уровень звука превышал 80 дБА.

в) Автоматическая регистрация событий, при которых уровень звука превышал порог 80 дБА не менее 10 с.

г) Автоматическое определение суточных параметров звука:  $L_{экв}$ , Максимальный и Минимальный уровень звука на характеристике S (медленно), процентиля L10, L20, L50, L80, L90.

## Результаты

В таблице 1 приведены суточные данные для одной из недель измерений.

Таблица 1.

	LASmax	LASmin	L10	L20	L50	L80	L90	LEQ
18.10.2006	86,1	48,1	65,5	63	58	51,5	50	61,9
19.10.2006	104	36	63,5	62	55,5	46	45	63,6
20.10.2006	79,8	33,2	62,5	61	49	37,5	36,5	58,7
21.10.2006	77,7	44,2	62,5	61	53,5	46	45,5	59,3
22.10.2006	87,3	44,1	68	65	59,5	53	45,5	64,9
23.10.2006	89	45,1	69	65	59	55	53	68,6
24.10.2006	88,4	41,5	73	66	60	55	52,5	69
25.10.2006	89	34,8	75	72	60,5	45	42,5	71,3
26.10.2006	83,5	34,7	73	69	60	41	37	67,4

Интересно обратить внимание на несколько моментов:

- чрезвычайно высокая изменчивость звука: суточные эквивалентные уровни варьировались от 59 до 71 дБА, что, очевидно, связано с активностью мероприятий в выставочном комплексе
- Уровень  $L_{ASmax}$  на 15 – 20 дБ превышал процентиль L10; то есть уровни звука, измеренные на характеристике МАХ шумомера не обеспечивают статистически достоверной воспроизводимости и обусловлены случайными эффектами.
- Процентиль L20 близок к эквивалентным уровнем  $L_{eq}$ , что связано с индивидуальными особенностями характера шума в данном месте.

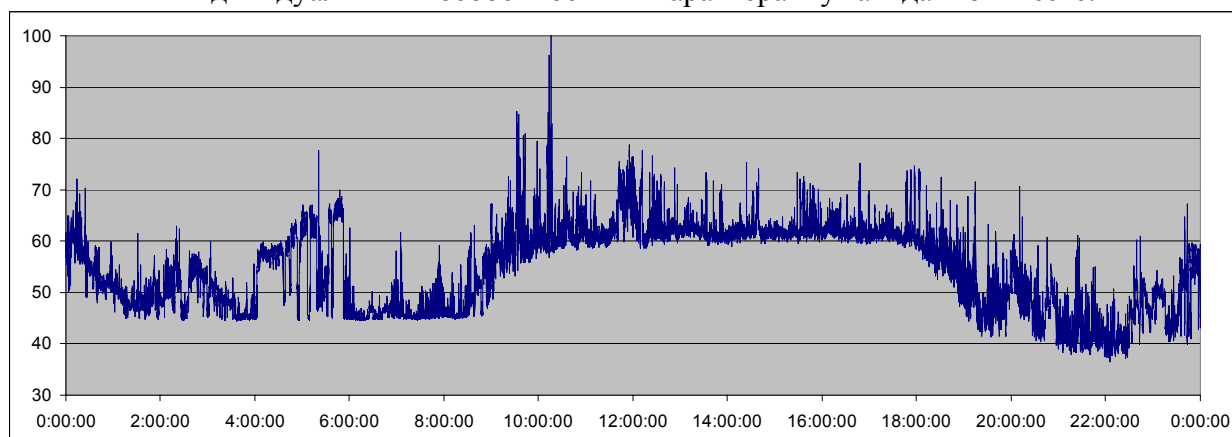


Рисунок 1.

На рисунке 1 представлен пример суточной временной истории уровней звука в одной из измерительных точек.

Легко выделить участки, соответствующие дневной активности, ночным мероприятиям, а также утренним уборочным работам.

На рисунке 2 приведен пример суточной акустической истории для новогодних праздников:

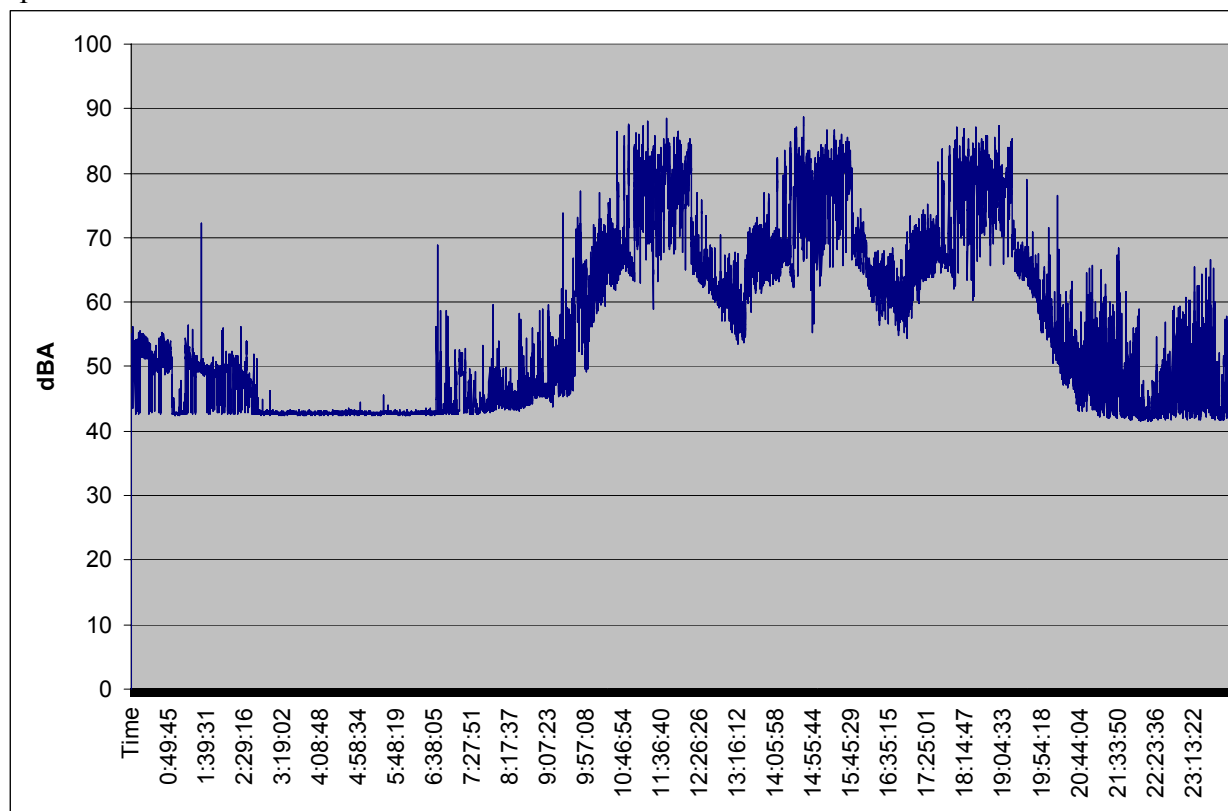


Рисунок 2.

Четко выделяются три периода проведения детских представлений.

### Резюме

Приведенные результаты являются яркой иллюстрацией того, насколько сильно могут изменяться уровни виброакустических параметров в помещениях жилых и общественных зданий. Поэтому для получения полной картины поведения коммунальных шумов и вибраций необходимо проведение длительных измерений и их статистическая обработка.

Измерительные системы, построенные на приборах ОКТАВА-110 и программном обеспечении «110\_DM. Диспетчер данных», являются удобным современным средством решения этой задачи.

## ИЗМЕРЕНИЕ ВИБРАЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

**Целью данного измерения** было определение уровней вибрации на полу производственного помещения, в котором предполагалось размещение прецизионных приборов, чувствительных к вибрациям. В отличие от описанного выше примера, основным источником вибрации в данном случае являлось производственное оборудование, расположенное в смежных помещениях предприятия. Хотя измеренная вибрация относилась к непостоянным, ее статистические параметры хорошо воспроизводились в всех днях измерений.



**Место проведения измерений:** г. Москва, производственный корпус, второй этаж. На первом этаже расположен цех мехобработки. Передний фасад выходит на проезжую часть улицы.

**Измерительные точки:** две измерительные точки расположены на полу на расстоянии около 2 м друг от друга. Одна измерительная точка (Точка 1) расположена вблизи внутренней стены-перегородки, вторая – примерно в центре комнаты. Вибрация измерялась в вертикальном направлении.

**Измерительное и регистрирующее оборудование:** измерения проводились прецизионными приборами ОКТАВА-110А (заводские номера А060237 и А060238) с присоединенными к ним вибропреобразователями АР98-100 (№ 4651) и АР2037-100 (№5224) чувствительностью 100 мВ/г. Регистрация данных проводилась в автоматическом режиме с помощью пакета программ 110\_DM «Диспетчер данных» на портативный компьютер-ноутбук.



**Время проведения замеров:**

Начало: 31.01.2007, 14:08

Окончание: 05.02.2007, 16:10

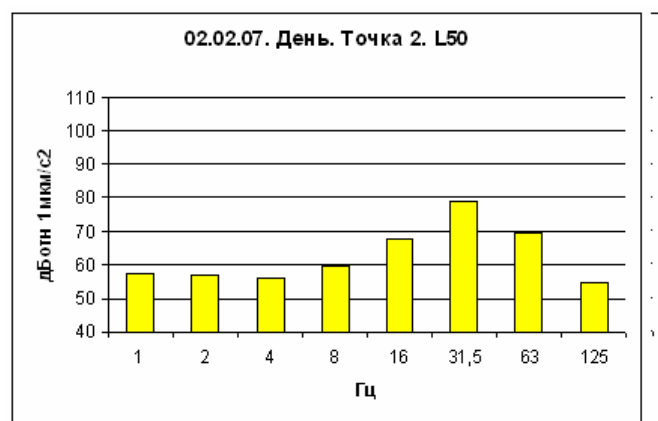
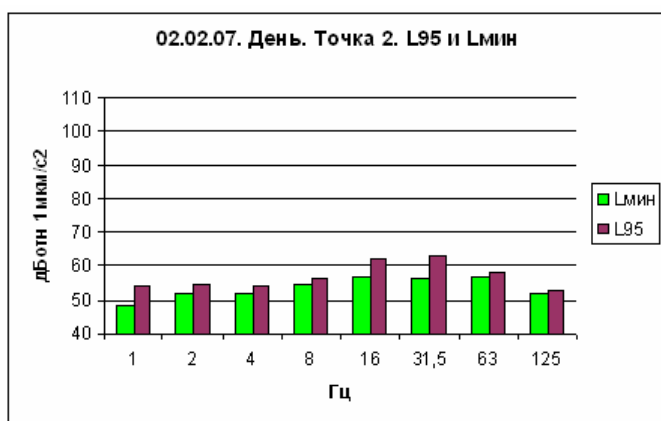
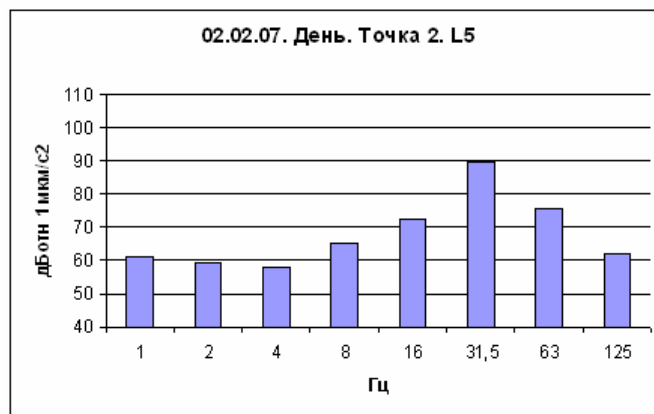
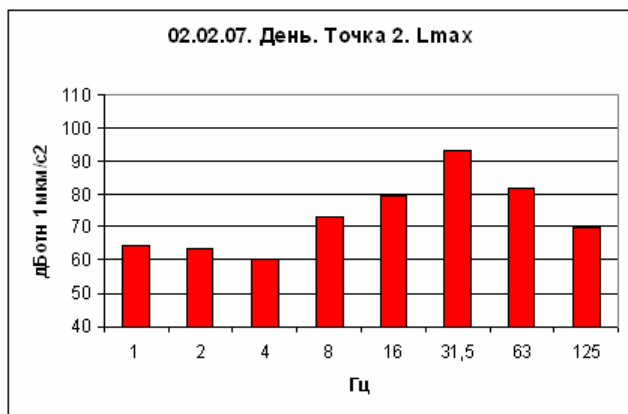
**Регистрируемые параметры**

Среднеквадратичные уровни виброускорения в октавных полосах частот 1 Гц – 125 Гц и в 1/3-октавных полосах частот 0,8 Гц – 160 Гц. Тип усреднения: линейное за 10 с.

**Результаты и их интерпретация**

В ходе предварительного обследования помещения выявлено, что настил пола (листы фанеры или иного материала, уложенные на слези и покрытые линолеумом) обладает высокой упругости и сильно реагирует при хождении: зафиксированы краткосрочные всплески виброускорения более  $0,1 \text{ м/с}^2$ .

Для установления характера вибрации в обследуемом помещении и определения ее параметров проведен статистический анализ всего объема зарегистрированных данных. Примеры данных показаны на прилагаемых рисунках:



Итоговые результаты разбиты по суткам, отдельно учитываются периоды с 07:00 до 17:00, до 07:00 и после 17:00.

Для каждого периода рассчитаны следующие величины:

Lmax – максимальный среднеквадратичный уровень виброускорения, зарегистрированный в данный период. Этот параметр связан со случайными воздействиями и поэтому может сильно отличаться в разные моменты времени.

Lмин – минимальный среднеквадратичный уровень виброускорения, зарегистрированный в данный период. Этот параметр (вместе с L99 и L95) дает представление о вибрационном фоне.

L1, L5 – уровни вибрации, превышенные в течение 1% и (соответственно) 5% времени наблюдения. Эти уровни характеризуют статистические максимальные уровни вибрации, создаваемые постоянно действующими источником (в отличие от Lmax, который может быть связан просто с единичным падением молотка или т.п.).



L50 – уровень вибрации, превышенный в течение 50% времени. Этот параметр имеет смысл среднего значения вибрации, создаваемой основным источником. Отличается хорошей воспроизводимостью.

L95, L99 – уровни вибрации, превышенные в течение 95% и 99% времени наблюдения – близки к L<sub>мин</sub> (см. выше).

Полученные значения виброускорения не превышают санитарных и строительных норм и правил для данного типа помещений, однако выявлено существенное превышение обычного вибрационного фона в диапазоне частот 16-125 Гц: максимальные уровни (L<sub>макс</sub> и L5) достигали в рабочее время 90-100 дБ (0,03 – 0,1 м/с<sup>2</sup>), средние уровни L50 в рабочее время составляли 70-78 дБ (0,003 – 0,008 м/с<sup>2</sup>), тогда как фоновые уровни в нерабочее время составляли всего 55-58 дБ (около 0,0005 м/с<sup>2</sup>). Таким образом, превышение вибрационного фона, вызванное, скорее всего, производственной деятельностью в данном здании, составляет в обследуемом помещении около 40 дБ (в 100 раз).



## **Опыт измерения вибрации здания, вызванной поездами метрополитена**

В этой заметке мы хотим рассказать об опыте применения прибора ОКТАВА-110А для замеров вибраций зданий, вызванных поездами метрополитена.

Измерения проводились в одной из московских картинных галерей в центре Москвы. В настоящее время в этом здании и вокруг него проводятся строительные работы, которые привели к изменению вибрационных характеристик строительных конструкций и путей распространения вибрации.

### ***Применяемое оборудование и методика измерений***

Измерения проводились прибором ОКТАВА-110А, который работал в режиме «Общая вибрация». В качестве первичного преобразователя использовался вибродатчик со встроенной электроникой AP2037-100 чувствительностью 100 мВ/г.

Выбор данного оборудования был обусловлен тем, что прибор ОКТАВА-110А обладает очень низким уровнем собственных шумов, что позволяет измерять крайне слабые вибрации.

Наличие только одного канала измерений (по сравнению с трехканальным виброметром ОКТАВА-101ВМ) не являлось серьезным недостатком, так как вибрация имела преимущественно вертикальное направления. Однако при более детальном обследовании применение трехканального виброметра ОКТАВА-101ВМ является предпочтительным, так как позволяет производить замеры одновременно в трех точках.

Было проведено два типа измерений:

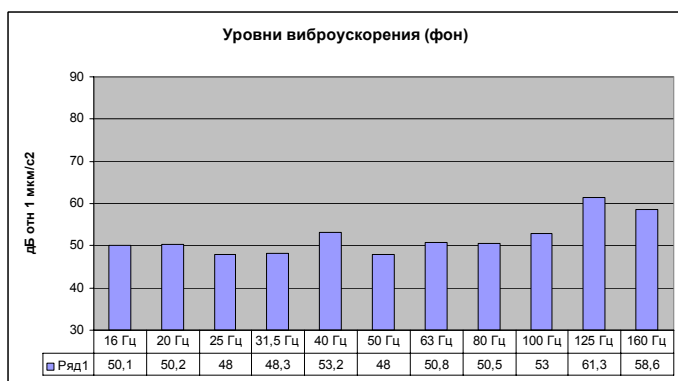
а) в трех точках (на исходном многослойном покрытии пола, на бетонной стяжке и на вновь создаваемом виброизолированном покрытии) произведены автоматические записи уровней виброускорения в октавных и третьоктавных полосах частот, а также скорректированных уровней виброускорения. Каждая запись охватывала примерно 10 циклов проезда поездов метрополитена.

б) в тех же трех точках осуществлялась запись временных форм сигналов виброускорения для дополнительных исследований. Временные формы сигналов записывались на прибор SQ-1, подключенный к цифровому выходу прибора ОКТАВА-110А. Такие записи могли пригодиться, если бы метropоезда инициировали появление низкочастотных переходных процессов в диапазоне частот ниже 10 Гц. Учитывая, что продолжительность прохождения поезда составляет 10-20 с, такие процессы практически невозможно обследовать обычными низкочастотными октавными и третьоктавными фильтрами, имеющими малую полосу пропускания.

Результаты обрабатывались программой 110\_Uutilities, входящей в состав пакета Signal+.

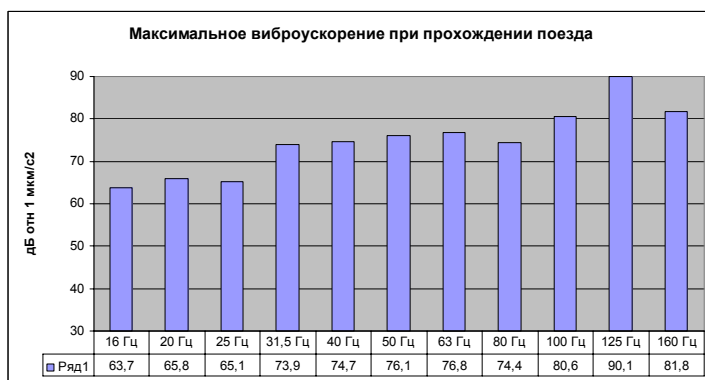
### ***Результаты измерения***

1. Рассмотрим сначала результаты измерений на исходном многослойном покрытии. На приведенном ниже рисунке показан спектр виброускорения в третьоктавах 16 – 160 Гц в отсутствии метropоездов (фоновая вибрация):

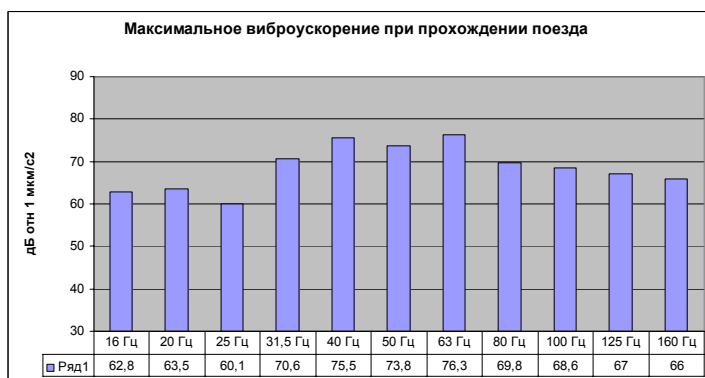


Фоновые уровни виброускорения примерно на 30 дБ ниже допустимых уровней, однако обращает на себя внимание повышение вибраций на более высоких частотах (100-160 Гц). Отсутствие этого эффекта на бетонной стяжке (см. ниже) говорит о том, что он обусловлен резонансом самого многослойного покрытия. Хотя эти частоты не нормируются санитарными и строительными правилами, при ударном возбуждении на них будут появляться столь высокие уровни вибрации (резонанс), которые могут вызывать психологический дискомфорт.

На следующем рисунке мы видим как раз это явление:



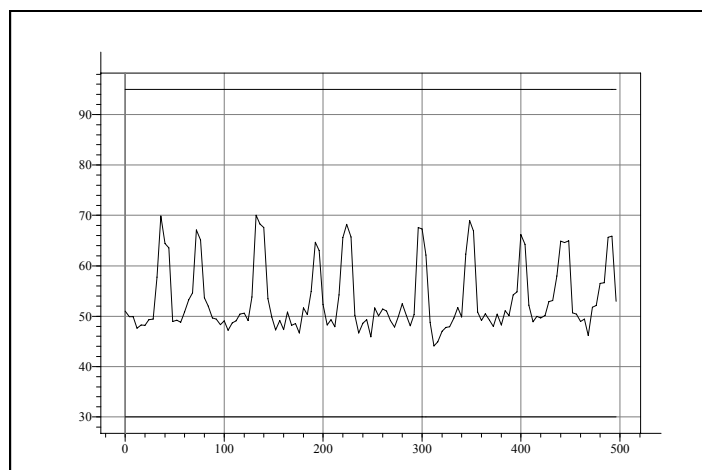
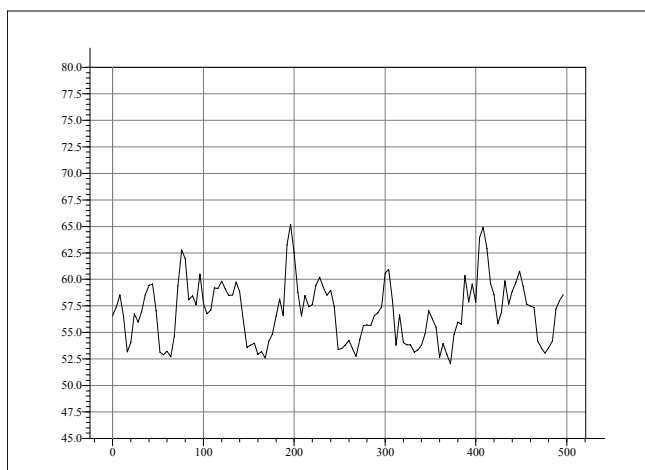
А теперь спектр максимальных виброускорений на бетонной стяжке:



Как видим, здесь действительно отсутствуют резонансные эффекты на частоте 125 Гц, а основная вибрационная энергия, вызванная прохождением поездов метрополитена, сосредоточена в диапазоне 31,5 – 80 Гц.

2. Теперь интересно посмотреть, как изменялась вибрация в разных полосах частот:

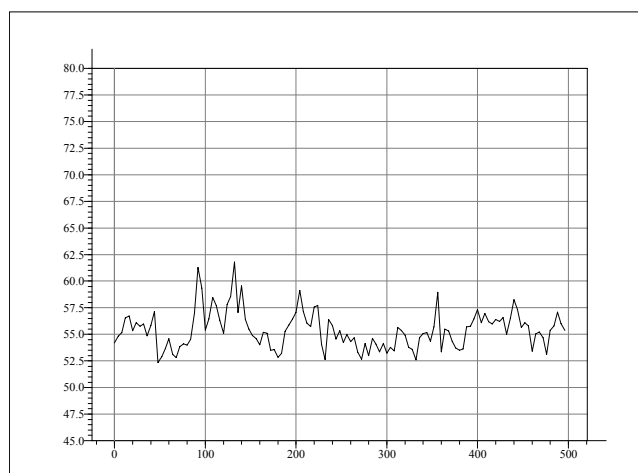
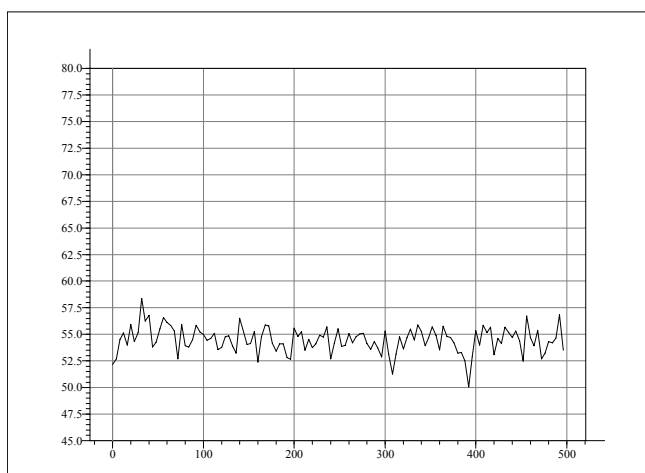




Уровни виброускорения на бетонной стяжке в октаве 16 Гц и 31,5 Гц.

Хорошо видно, что уже на 16 Гц здание слабо реагирует на воздействие метропоездов, тогда как на 31,5 Гц каждое прохождение поезда сопровождается отчетливым ростом вибрации.

А вот как выглядит картина вибраций на более низких частотах 4 Гц и 8 Гц:



Как видим, на этих частотах вибрация при прохождении поезда практически не отличается от фоновой.

Итак, действительно, здание реагирует на прохождение метропоездов повышением вибраций в диапазоне от примерно 16 до 100 Гц, а основная вибрационная энергия сосредоточена в октавах 31,5 и 63 Гц.

Предельно допустимые уровни виброускорения непостоянных вибраций в помещениях общественных зданий в октавах 16, 31,5 и 63 Гц составляют 79, 85 и 91 дБ соответственно.

3. Теперь сопоставим уровни виброускорения, измеренные на бетонной стяжке и на новом виброизолированном полу.

Поскольку измерения в этих точках проводились в разные моменты времени, наиболее корректно сопоставлять статистические параметры вибраций, а именно проценти́ли (процентиль  $L_n$  – уровень превышенный в течение  $n\%$  времени наблюдения):



	октава		8.0 Hz			
Ln	L1	L5	L10	L50	L95	L99
стяжка	60	57,5	57	54,5	51	49
плав.пол	62	59	58	55,5	52	50,5
	октава		16.0 Hz			
Ln	L1	L5	L10	L50	L95	L99
стяжка	65,5	61,5	61	56,5	51,5	50,5
плав.пол	71,5	68,5	66,5	61	54,5	53,5
	октава		31.5 Hz			
Ln	L1	L5	L10	L50	L95	L99
стяжка	75	74	73	57,5	55	54,5
плав.пол	77,5	74,5	72,5	59	56	55
	октава		63.0 Hz			
Ln	L1	L5	L10	L50	L95	L99
стяжка	77,5	75,5	74,5	56,5	52,5	51,5
плав.пол	76	75	74	56	52	51,5

	1/3 октава		40 Hz			
Ln	L1	L5	L10	L50	L95	L99
стяжка	75	72	71	55,5	52,5	51,0
плав.пол	70,5	69,5	68,5	54,5	52	50,5

Процентиль L5 (уровень , превышенный в течение 5% времени) в данной задаче характеризует статистически достоверный максимальный уровень вибрации при прохождении поезда. Процентиль L95 дает уровень фоновых вибраций в отсутствии метропоездов.

Как видим, для октав 31,5 и 63 Гц вибрация на виброизолированном полу и бетонной стяжке практически одинаковая, то есть виброизоляция здесь практически не работает. Особняком стоит 1/3-октава 40 Гц, где зафиксировано серьезное снижение максимальных виброускорений от 3 до 6 дБ, однако это практически не отразилось на суммарном уровне виброускорения в октаве 31,5 Гц.

Интересно, что в октаве 16 Гц виброизоляция отрицательна: виброизолирующий пол дает более высокие уровни вибрации, чем на стяжке, причем как при прохождении поезда, так и в фоновом режиме. Рост вибрации на полу по отношению к стяжке здесь достигает 7 дБ (!), однако уровни вибрации все равно остаются очень низкими – более чем на 10 дБ ниже норматива даже с учетом поправки на непостоянную вибрацию.

Виброизоляция начинает хорошо работать на частотах выше 80 Гц:

	1/3 октава		80 Hz			
Ln	L1	L5	L10	L50	L95	L99
стяжка	70,0	67,5	65,5	51,0	47,0	46,0
плав.пол	66,0	64,5	63,0	49,5	46,5	46,0

