

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 АР2037-100 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 детальных обследованиях применение трехканального виброметра ОКТАВА-101ВМ является предпочтительным, так как позволяет производить замеры одновременно в трех точках.

Было проведено два типа измерений:

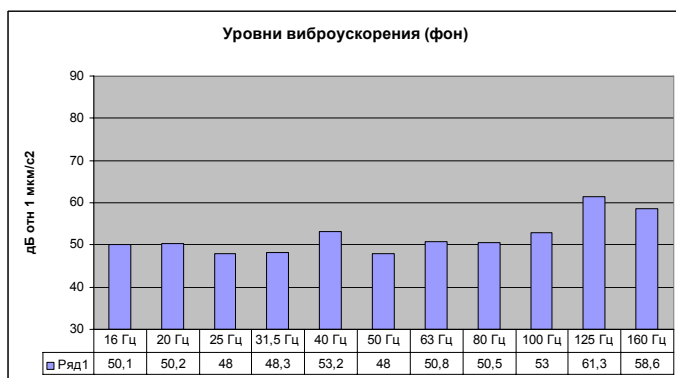
а) в трех точках (на исходном многослойном покрытии пола, на бетонной стяжке и на вновь создаваемом виброизолированном покрытии) произведены автоматические записи уровней виброускорения в октавных и третьоктавных полосах частот, а также скорректированных уровней виброускорения. Каждая запись охватывала 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_Utilities, входящей в состав пакета Signal+.

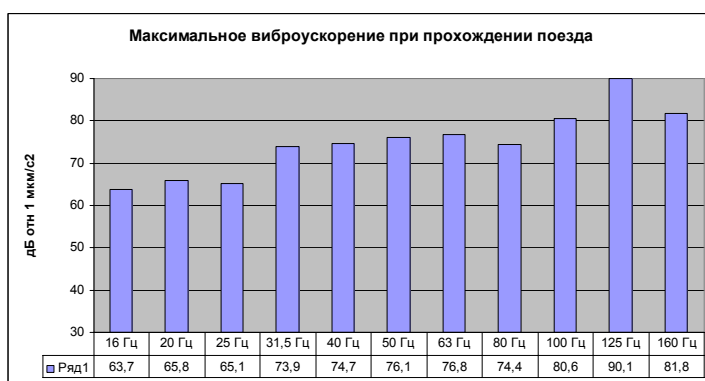
Результаты измерения

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):

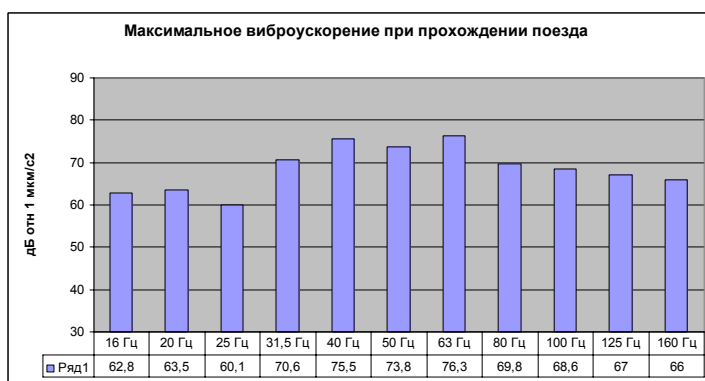


Фоновые уровни виброускорения примерно на 30 дБ ниже допустимых уровней, однако обращает на себя внимание повышение вибраций на более высоких частотах (100-160 Гц). Отсутствие этого эффекта на бетонной стяжке (см. ниже) говорит о том, что он обусловлен резонансом самого многослойного покрытия. Хотя эти 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:

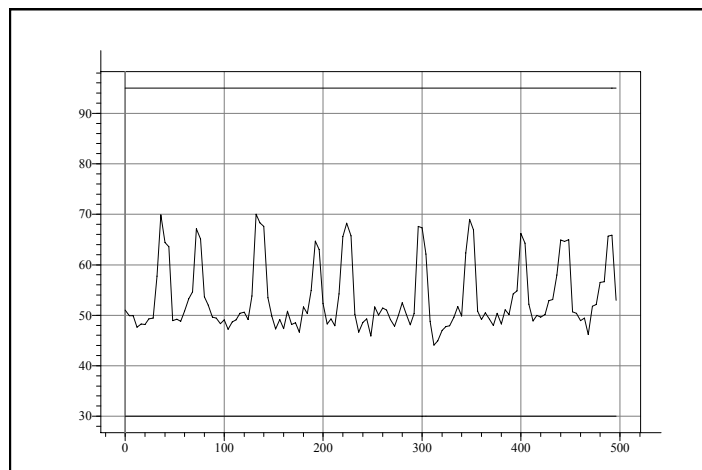
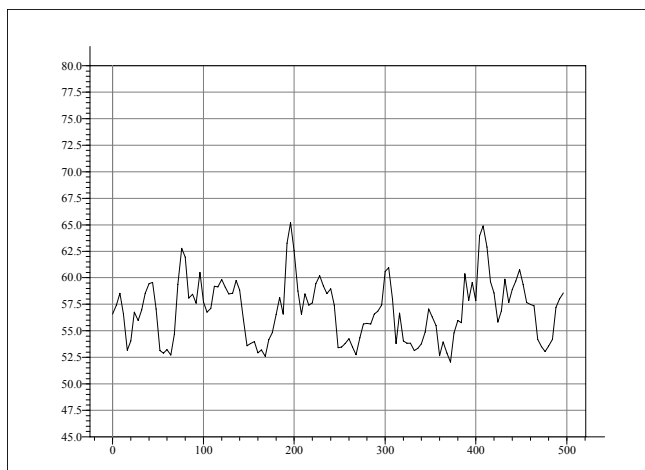


А теперь спектр максимальных виброускорений на бетонной стяжке:



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.

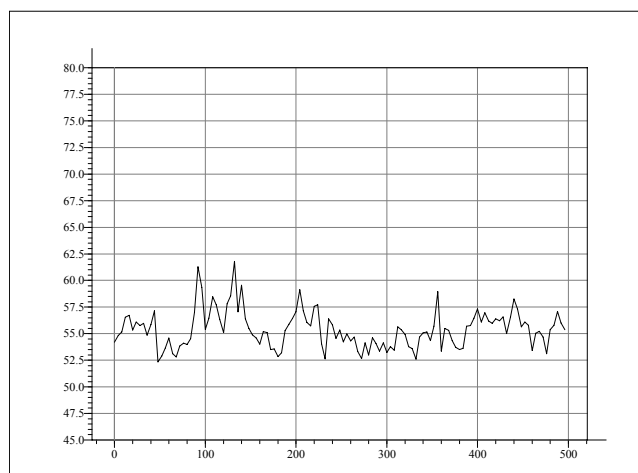
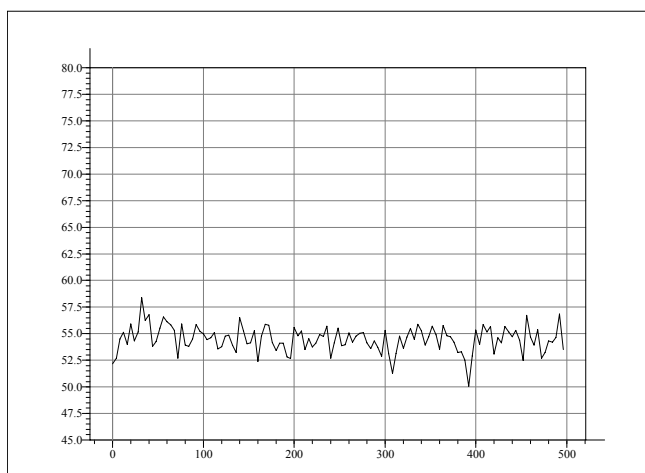
2. Теперь интересно посмотреть, как изменялась вибрация в разных полосах частот:



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

Заключение

Прибор ОКТАВА-110А в стандартной комплектации выполнил большой объем измерений в автоматическом режиме. Чувствительность прибора позволяет с высокой точностью выявить вибрационные характеристики строительных конструкций даже при слабых уровнях вибрации.

Программное обеспечение 110_Utility позволило в короткие сроки обработать данные и получить статистически достоверные результаты.