

Сравнительная оценка уровня виброколебаний путевого бетона в метро с различными типами подрельсовых оснований

К числу факторов, определяющих качество состояния окружающей среды, относятся шум и вибрация. В городах, в которых имеется метро, дополнительным источником шума и вибрации являются линии метрополитена. Воздействие вибрации может негативно сказываться на состоянии зданий, коммуникаций, конструкции самого метрополитена, а также на здоровье людей, живущих и работающих в домах, расположенных по линии метро. Цель данной работы – определение эффективности применения лежневого железобетонного подрельсового основания по критерию снижения вибрации в тоннеле метрополитена. Объектом исследования являлась конструкция подрельсового основания пути метрополитена. Предмет исследования – интенсивность виброколебаний путевого бетона при различных конструкциях подрельсового основания: типовом с деревянными шпалами, лежнем с виброзащитными резиновыми прокладками и без них. Для оценки уровней вибрации всех трех типов конструкции подрельсового основания были произведены измерения вертикальных ускорений колебаний на путевом бетоне при движении метропоездов. Измерения производились с помощью компьютерно-измерительного комплекса на базе аппаратуры фирмы «Брюль и Кьер».

Анализ результатов измерений был проведен по октавным полосам. Было установлено, что применение железобетонного лежневого подрельсового основания без виброзащиты позволяет примерно в три раза снизить общий уровень вибрации путевого бетона по отношению к типовой конструкции, а применение лежневого основания с виброзащитой – более чем в пять раз. При этом оказалось, что использование резиновых прокладок в железобетонном лежневом основании ведет к повышению уровня вибрации в низкочастотном диапазоне (0–40 Гц) при пренебрежимо низких абсолютных значениях.

Ключевые слова: *метропоезд, акселерометр, вибрация, виброзащита, ускорение колебаний, октавные полосы, резиновая прокладка, железобетонные лежни, шпалы, подрельсовое основание.*

Целью работы являлось определение эффективности применения лежневого железобетонного подрельсового основания по критерию снижения вибрации в тоннеле метрополитена. Для непрерывной записи вибрации от движения метропоездов использовался компьютерно-измерительный комплекс на базе аппаратуры фирмы «Брюль и Кьер», состоящий из акселерометра, усилителя заряда, аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и компьютера.

Основные параметры АЦП:

Разрядность	14 бит
Регистрируемая амплитуда	± 10 v
Входное сопротивление	≥ 1 МОм
Частота преобразования	до 400 кГц

Крепление датчиков в тоннеле производилось с помощью резьбовых шпилек на зацементированных в путевой бетон металлических стержнях.

Превышение измеряемого сигнала над фоновым шумом составляло 25–30 дБ.

По вышеописанной методике были проведены измерения вибрации на путевом бетоне тоннеля при движении метропоездов на одном из участков Новосибирского метрополитена. Измерения проводились на трех пикетах с различными типами подрельсового основания – лежневым с виброзащитой, лежневым без

виброзащиты и типовым. Скорость, предусмотренная графиком движения поездов на этих пикетах, составляла 60 км/ч [1–3].

В качестве основных фиксируемых параметров были приняты максимальные значения вертикальных ускорений $a_{\max}$ и среднеквадратичные значения вертикальных ускорений путевого бетона

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i^2}, \quad (1)$$

где N – количество точек временного интервала длительностью 1 с; a_i – значение ускорения i -й точки осциллограммы.

Среднее значение RMS по каждому сигналу от прохождения метропоезда определялось как среднееарифметическое по последовательным интервалам длительностью 1 с [4–8]. Более детальный анализ RMS проводился по октавным полосам со среднегеометрическими частотами 8; 16; 31,5 и 63 Гц, рекомендуемыми санитарно-гигиеническими нормами.

На рис. 1 показано расположение датчиков в сечении тоннеля с тремя типами подрельсового основания. На рис. 2 приведены характерные осциллограммы вертикальных ускорений колебаний путевого бетона на расстоянии 0,5 м от рельса.

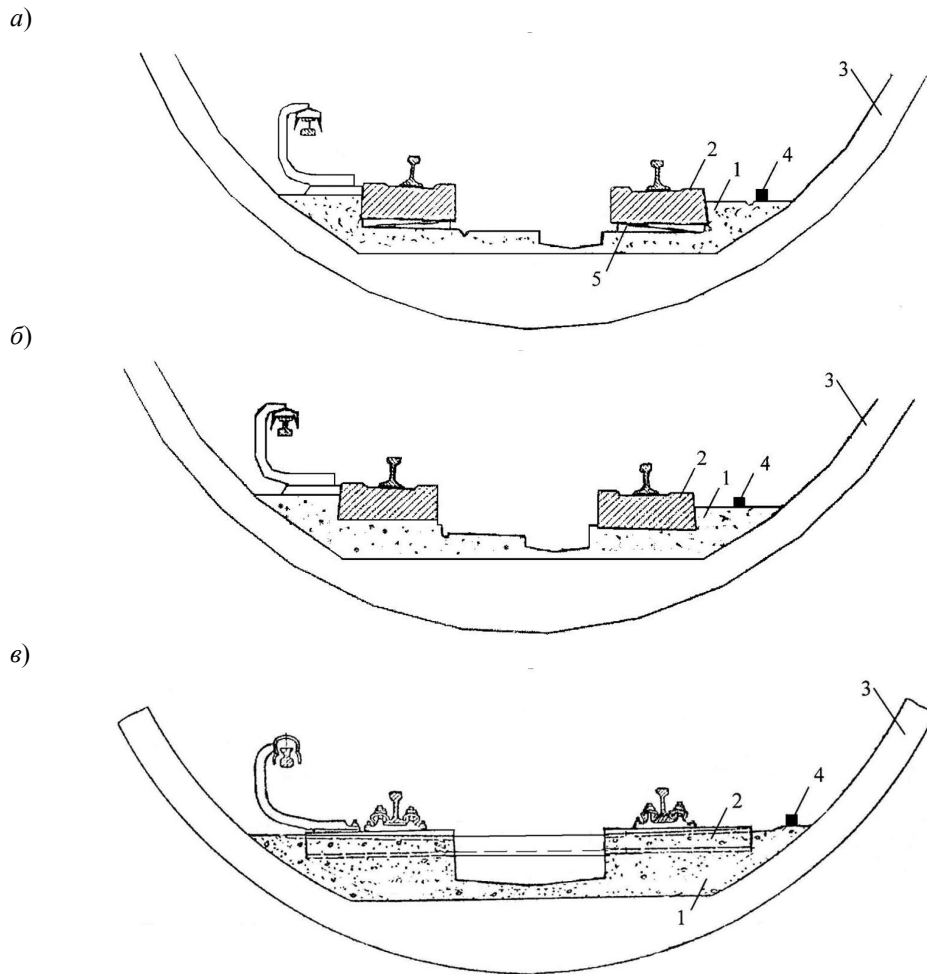


Рис. 1. Схема размещения датчика в сечении тоннеля с виброзащитными железобетонными лежнями (а), с железобетонными лежнями без виброзащиты (б), с деревянными шпалами (в): 1 – путевого бетон; 2 – лежень / шпала; 3 – тоннельная обделка; 4 – датчик; 5 – резиновая прокладка

Сводная таблица результатов измерений вертикальной вибрации в тоннеле на путевом бетоне с различными типами подрельсовых оснований

Тип подрельсового основания	Макс. ускорение вибрации, м/с ²	Весь диапазон частот		Октавная полоса с частотой, Гц							
				63		31,5		16		8	
		<i>RMS</i> , м/с ²	<i>L</i> , дБ	<i>RMS</i> , м/с ²	<i>L</i> , дБ	<i>RMS</i> , м/с ²	<i>L</i> , дБ	<i>RMS</i> , м/с ²	<i>L</i> , дБ	<i>RMS</i> , м/с ²	<i>L</i> , дБ
Лежневое с виброзащитой	1,0	0,188	105	0,054	95	0,0280	89	0,0067	77	0,0081	78
Лежневое без виброзащиты	1,7	0,380	112	0,123	102	0,0136	83	0,0034	71	0,0024	68
Типовое	5,7	1,08	121	0,192	106	0,0248	88	0,0050	74	0,0043	73

В таблице отражены результаты вычислений среднеквадратичных значений ускорений *RMS*, выполненных по октавным полосам.

Сравнительный анализ полученных результатов

Для анализа и наглядного сопоставления все вышеприведенные результаты измерений вибрации в тоннеле для трех различных типов подрельсовых оснований были сведены в

одну таблицу, в которой интенсивность колебаний в целом и отдельно по октавным полосам выражена в децибелах в соответствии с формулой пересчета *RMS*:

$$L = 20 \log(RMS / a_0), \quad (2)$$

где a_0 – пороговое значение ускорения, принятое согласно существующему стандарту [6] равным 10^{-6} м/с².

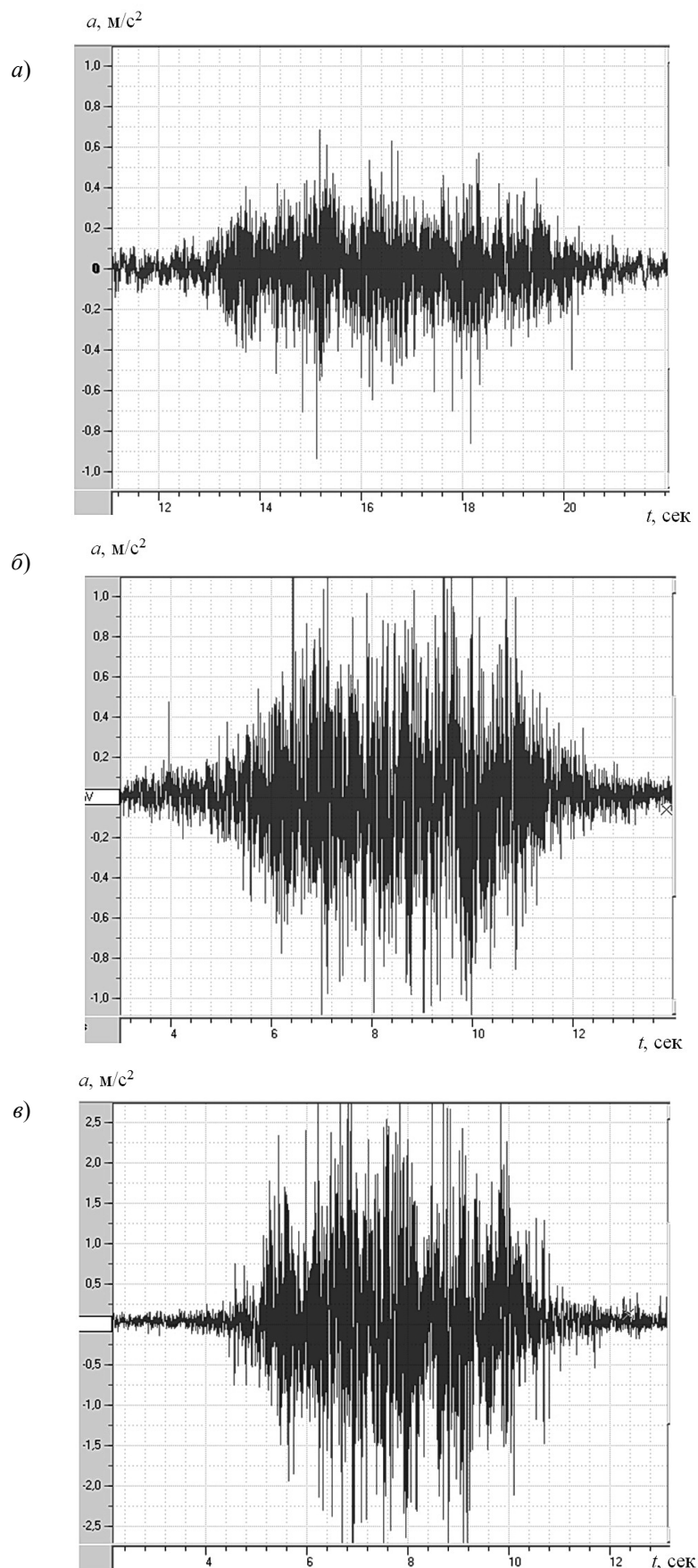


Рис. 2. Осциллограмма ускорений колебаний путевого бетона при прохождении поезда по пути с виброзащитным лежневым подрельсовым основанием (а), с лежневым подрельсовым основанием без виброзащиты (б), с типовым подрельсовым основанием (в)

Анализ данных, приведенных в таблице, позволяет сделать следующие выводы.

Интенсивность колебаний в октавных полосах 8 и 16 Гц пренебрежимо мала по отношению к более высокочастотным диапазонам, поэтому в дальнейшем анализе их можно не принимать во внимание.

Для технической оценки интенсивности колебаний путевого бетона был принят во внимание весь частотный диапазон, т. е. анализировался полный сигнал записанных осциллограмм. Смысл такого подхода обусловлен тем, что воздействие вибрации на конструктивные элементы тоннеля не ограничивается частотами, регламентированными к рассмотрению в санитарных нормах. По этому параметру уровень вибрации при использовании железобетонных лежней без виброзащиты снизился в среднем в 2,8 раза (9 дБ), а с виброзащитой – в 5,7 раза (16 дБ). С учетом возможной вариации скоростей движения метropоездов эти значения следует рассматривать с точностью до 10–15 %. Аналогичные данные получены при сравнении максимальных амплитуд ускорений. Здесь вибрация от применения лежневого основания без виброзащиты снижается в 3,4 раза, с виброзащитой – в 5,7 раза. Подобная корреляция сравнительного анализа с применением двух различных критериев оценки уровней вибрации (по среднеквадратичным и максимальным амплитудам ускорений) является дополнительным подтверждением достоверности проведенного анализа.

Несколько иная картина просматривается при анализе, выполненном для среднеквадратичных значений ускорений по октавным полосам.

В полосе частот от 44,5 до 89,1 Гц (базовая частота 63 Гц) снижение уровней вибрации со-

ставляло 1,6 раза (4 дБ) для лежней без виброзащиты и 3,6 раза (11 дБ) – с виброзащитой.

В полосе частот от 22,3 до 44,5 Гц (базовая частота 31,5 Гц) снижение вибрации отмечено лишь для лежней без виброзащиты – в 1,8 раза (5 дБ). Что касается виброзащитного варианта лежневого основания с использованием резиновых прокладок между лежнем и путевым бетоном, то здесь наблюдалось даже незначительное (12–13 %) превышение уровня вибрации по отношению к типовому подрельсовому основанию.

Аналогичная тенденция прослеживается и в более низкочастотных диапазонах – октавных полосах с базовыми частотами 16 и 8 Гц. При снижении уровня вибрации для лежней без виброзащиты в 1,5–1,8 раза (3–5 дБ) введение резиновых прокладок повлекло увеличение уровня вибрации в 1,3–1,8 раза (2–5 дБ) при пренебрежимо низких абсолютных значениях.

Такая картина, наблюдаемая в низкочастотных диапазонах вибрации при использовании виброзащитного варианта лежневого основания, может быть объяснена особенностями работы резиновых прокладок, которые демпфируют высокочастотные колебания за счет некоторого усиления низкочастотной составляющей сигнала.

В контексте вышеописанного интересно отметить, как проблема снижения вибрации решается за рубежом. Например, в Парижском метрополитене впервые в мире стал использоваться подвижной состав с дополнительной системой пневмошин, которые опираются на проложенные рядом с рельсами бетонные бордюры (рис. 3, 4). Подобные вагоны, построенные французскими фирмами, работают также в Мехико, Монреале, Сантьяго, на одной из линий в Милане, которая строилась с помощью парижских специалистов, а также в Саппоро.



Рис. 3. Колесная пара с пневмошинами



Рис. 4. Бетонный бордюр

Выводы

1. Применение железобетонного лежневого подрельсового основания без виброзащиты позволяет примерно в три раза снизить общий уровень вибрации путевого бетона по отношению к типовому.

2. Применение железобетонного лежневого подрельсового основания с виброзащитой приводит к снижению общего уровня вибрации путевого бетона в 5,7 раза по отношению к типовому.

3. Использование резиновых прокладок между железобетонными лежнями и путевым бетоном эффективно в высокочастотных диапазонах вибрации, например, в октавной полосе 63 Гц снижение уровня вибрации достигает 2,2 раза (7 дБ); при более низких частотах, напротив, отмечено заметное увеличение уровня вибрации – до двух раз (6 дБ) в октавных полосах 31,5 и 16 Гц и до 3,4 раза (10 дБ) в октавной полосе 8 Гц.

Библиографический список

1. Алимов С. Г. Оценка влияния транспортной вибрации на конструкции зданий-памятников архитектуры: На примере г. Владивостока: Дис. ... канд. техн. наук. Владивосток, 2015. 155 с.
2. Дашевский М. А., Мондрус В. Л., Моторин В. В. Виброзащита крупнопанельных зданий, возводимых вблизи трасс метрополитена неглубокого заложения. М., 2001. 125 с.
3. Ковальчук О. А. Особенности динамических откликов панельных зданий повышенной этажности, подвергающихся воздействию вибраций, вызванных движением поездов метрополитена: Дис. ... канд. техн. наук. М., 2004. 111 с.
4. ГОСТ Р 51399–99. Вибрация. Измерения вибрации внутри железнодорожных тоннелей при прохождении поездов. М., 2000. 8 с.
5. СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. М., 1997. 14 с.
6. ГОСТ Р 52892–2007, Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию. М.: Стандартинформ, 2008. 20 с.
7. ГОСТ 12.1.012–90. Вибрационная безопасность. Общие требования. М., 1990. 48 с.
8. ГОСТ ИСО 8041–2006. Вибрация. Воздействие вибрации на человека. Средства измерений. М., 2006. 120 с.

A. L. Isakov, Y. P. Smolin

A Comparative Estimation of Vibration Level of Track Concrete in the Metro with Various Types of Under-Rail Bases

Abstract. Among the factors determining the quality state of the environment are noise and vibration. In cities where there is a subway, an additional source of noise and vibration are subway lines. The impact of vibration can adversely affect the condition of buildings, communications, the construction of the subway itself, as well as people living and working in the buildings located along the metro line. The purpose of this work is to determine the effectiveness of using a reinforced concrete under-rail base by the criterion of reducing vibration in a subway tunnel. The object of the study was the construct of the under-rail base in subway. The subject of the study is the intensity of vibration of track concrete with various designs of the under-rail base: typical with wooden sleepers, embeded concret sleepers with vibration-proof rubber gaskets and without them. To assess vibration levels for all three types of under-rail bases, the measurements were made of vertical acceleration of vibrations on track concrete during the movement of subway trains. The measurements were carried out with the help of a computer-measuring complex based on the equipment of the firm "Brüel & Kjær".

The analysis of the measurement results was carried out in octave bands. It was stated that the use of a embeded concret sleepers without vibration protection allows to decrease the overall vibration level of track concrete approximately a third of in relation to a typical design, and the use of a embeded concret sleepers with vibration protection leads to a decrease the total vibration level of track concrete by more than 5 times. It turned out that the use of rubber gaskets under the embeded concrete sleepers leads to an increase in the vibration level in the low-frequency range (0 – 40 Hz) with negligible absolute values.

Key words: *metro train; accelerometer; vibration protection; vibration acceleration; octave band; rubber gasket; reinforced concrete sleepers; sleepers; under-rail base.*

Исаков Александр Леонидович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Изыскания, проектирование и постройка железных и автомобильных дорог» СГУПС. E-mail: mylab@ngs.ru

Смолин Юрий Петрович – доктор технических наук, профессор кафедры «Геотехника, тоннели и метрополитены» СГУПС. E-mail: yurij.smolin@bk.ru