

УДК 699.842

OECD 02.00.00/02.01.00/02.01.IM

Особенности нормирования и оценки вибрации от рельсового транспорта в помещениях жилых и общественных зданий

Цукерников И.Е.¹, Шубин И.Л.², Невенчанная Т.О.^{3*}¹Д.т.н., главный научный сотрудник, НИИСФ РААСН, Москва, Россия²Д.т.н., директор, НИИСФ РААСН, Москва, Россия³Д.т.н., профессор, Московский политехнический университет, Москва, Россия

Аннотация

Дан анализ нормативной и технической документации, устанавливающей требования к нормированию непостоянной вибрации. Отмечены существующие противоречия и предложены рекомендации по их устранению. Показано, что в соответствии с действующими санитарными нормативными документами в качестве нормируемого параметра вибрации рельсового транспорта следует принимать эквивалентное значение частотно скорректированной виброскорости или виброускорения или их уровней. Для рабочих мест таким параметром принято виброускорение. Приведены доводы в пользу принятия в качестве нормируемого параметра в помещениях жилых и общественных зданий соответствующих значений виброскорости. Показана необходимость включения в состав нормируемых параметров также максимального значения указанных величин и целесообразность одновременной оценки их обоих значений. Приведены соответствующие нормативные значения. Даны предельные значения нормируемых параметров в октавных полосах типичного для рельсового транспорта диапазона частот, которыми можно руководствоваться при подборе средств виброзащиты.

Ключевые слова: рельсовый транспорт, поезд, вибрация, нормирование, оценка, нормативная документация, нормируемые параметры.

Features of normalization and evaluation of vibration from rail transport in premises of residential and public buildings

Tsukernikov I.E.¹, Shubin I.L.^{2}, Nevenchannaya T.O.³**¹D.Sc., chief scientist officer, NIISF RAACS, Moscow, Russia**²D.Sc., CEO, NIISF RAACS, Moscow, Russia**³D.Sc., professor, Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia*

Abstract

The analysis of the normative and technical documentation establishing the requirements for the regulation of non-constant vibration is given. The existing contradictions are noted and recommendations for their elimination are offered. It is shown that in accordance with the current sanitary regulations, the equivalent value of the frequency corrected vibration velocity or vibration acceleration or their levels should be taken as the standardized parameter of the rail transport vibration. For workplaces acceleration is used as this parameter. The arguments are presented in favor of the adoption of the corresponding values of vibration velocity as a standard parameter in the premises of residential and public buildings. It is shown that it is necessary to include in the composition of the parameters to be regulated the maximum value of these quantities and the expediency of simultaneous evaluation of both values. The corresponding normative values are given. The limiting values of the normalized parameters in octave bands of the frequency range typical for the rail transport are given, which can be used to select the means of vibration protection.

Key words: rail transport, train, vibration, regulation, evaluation, normative documents, standard parameters.

*E-mail: 3342488@mail.ru (Цукерников И.Е.), niisf@niisf.ru (Шубин И.Л.), nevento@mail.ru (Невенчанная Т.О.)

Введение

В последнее время увеличилось число работ, связанных с прогнозированием вибрации, создаваемой рельсовым транспортом (железнодорожные линии и линии метрополитена мелкого заложения) в помещениях жилых и общественных зданий. В больших городах это связано с расширением точечного строительства, когда проектируемые здания оказываются в зоне воздействия указанных видов рельсового транспорта. Так из обследованных ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Москве» в 2014 – 2017 г.г. помещений в Москве в среднем 43% не отвечают гигиеническим требованиям [1]. Вместе с тем существующие подходы к оценке непостоянной вибрации зачастую носят весьма условный характер и не учитывают в полной мере требований действующих нормативных документов [2-5], которые, в свою очередь, также нуждаются в совершенствовании. Это приводит к серьезным ошибкам в оценке прогнозируемой вибрации и, как следствие, к значительному удорожанию реализации мероприятий по ее снижению.

1. Выбор нормируемых параметров

Основным документом, устанавливающим требования к нормированию вибрации, являются федеральные санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [2]. Введенные в 2010 г. санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.2.2645-10 [3] устанавливают требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях, которые следует соблюдать при размещении, проектировании, реконструкции, строительстве и эксплуатации жилых зданий и помещений, предназначенных для постоянного проживания. Они фактически дублируют требования [2] к соответствующим допустимым значениям виброскорости и виброускорения и их уровней. С 1 января 2017 г. введены в действие санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.4.3359-16 [4], усовершенствовавшие требования к вибрации на рабочих местах, в том числе в общественных зданиях. Нормирование вибрации от поездов метрополитена проводится в соответствии со сводом правил СП 120.13330.2012 [5], являющимся актуализированной редакцией действовавших с 2004 г. строительных норм и правил СНиП 32-02-2003 [6]. Методика оценки вибрации от поездов метрополитена (метропоездов) дана в своде правил СП 23-105-2004 [7].

Выбор нормируемых параметров и допустимых значений выполняют с учётом временного характера действующей вибрации. Вибрация, создаваемая в помещениях жилых и общественных зданий от движения рельсового транспорта, имеет непостоянный прерывистый характер и повторяется с интервалом, определяемым графиком движения подвижного состава. Такую вибрацию следует оценивать с учетом времени ее воздействия. В соответствии с требованием п. 5.5 санитарных норм [2] нормируемым параметром такой вибрации является «эквивалентное скорректированное значение ($U_{экс}$) виброскорости или виброускорения или их логарифмический уровень ($L_{U,экс}$), измеренное или вычисленное по формуле:

$$U_{экс} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n U_i^2 \cdot t_i}{T}} \quad (1)$$

или

$$L_{U_{\text{экв}}} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i} \cdot t_i \right), \quad (2)$$

где U_i – скорректированное по частоте значение контролируемого параметра виброскорости (v , L_v), м/с, или виброускорения (a , L_a), м/с²; t_i – время действия вибрации, ч;

$$T = \sum_{i=1}^n t_i, \quad (3)$$

где n – общее число интервалов действия вибрации».

Необходимо отметить, что в силу выражения (3) при определении значения нормируемого параметра не учитывается ослабление кумулятивного действия вибрации из-за неучета в общем интервале оценки T интервалов времени, в течение которых вибрация отсутствует. Этот недочет исправлен в [4] при определении значения нормируемого параметра вибрации на рабочем месте посредством принятия в качестве T нормативной продолжительности рабочей смены (8 ч) и в сводах правил [5, 7] посредством использования для T времени оценки вибрации в помещениях жилых и общественных зданий (16 ч днем и 8 ч ночью).

Таким образом, в соответствии с санитарными нормами [2] в качестве нормируемого параметра вибрации, создаваемой движением рельсового транспорта, следует принимать эквивалентное скорректированное значение виброскорости или виброускорения или их логарифмический уровень. При этом в соответствии с [4] для рабочих мест такой величиной является виброускорение. Для поездов метрополитенов в соответствии с [5, 7] – виброскорость. Основаниями для выбора виброскорости в качестве нормируемого параметра были следующие обстоятельства [8]: допустимые значения виброскорости для частотного спектра, свойственного вибрации от метропоездов (октавные полосы со среднегеометрическими частотами 31,5 – 63 Гц), соответствуют значениям, установленным в [2, 3] для скорректированной величины; частотные весовые коэффициенты для подлежащих оценке спектральных полос вибрационного сигнала равны 1; уровень звукового давления структурного шума в помещении определяют по значениям виброскорости колебания ограждающих поверхностей помещения. Кроме того, немецкими специалистами установлено и отражено в нормах [9], что восприятие человеком вибрации пропорционально величине виброскорости. Эти основания могут быть распространены и на железнодорожный транспорт, поскольку измерения показывают, что создаваемая вибрация выделяется над фоном в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 4 – 63 Гц для грузовых и 16 – 250 Гц для пассажирских и скоростных поездов.

Воздействие изменяющегося во времени фактора, как правило, наряду с эквивалентным значением нормируемого параметра характеризуют также его максимальным значением. Это имеет место для таких вредных акустических факторов как шум и инфразвук (см. [4] и действующие нормативные документы по указанным факторам). Для шума допустимые значения для максимального уровня звука A в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки приняты на 15 дБА большими чем для эквивалентного уровня. В ГОСТ 31191.1-2004 [10], устанавливающим общие требования к измерению общей вибрации и оценке ее воздействия на человека, в качестве максимального значения принято максимальное текущее среднеквадратичное значение MTVV (аббревиатура английского термина «maximum transient vibration value»). Оно соответствует максимальному значению

контролируемого параметра на периоде измерений. При этом измерения рекомендуется проводить с постоянной времени $\tau = 1$ с, что соответствует характеристике «медленно» (*S* – slow) шумомера. Далее для простоты эту величину будем называть максимальным значением параметра вибрации. В немецких нормах [9] установлены предельные значения для аналогично определяемой максимальной вибрации (KB_{Fmax}) [11], измеряемой с постоянной времени $\tau = 0,125$ с (соответствующей характеристике «быстро» (*F* – fast) шумомера). В российских санитарных нормативных документах [2–4], устанавливающих требования к нормированию вибрации, ограничение максимального значения воздействующего параметра не предусмотрено. Лишь во введенных в 2001 г. СанПиН 2.1.2.1002-00 [12] (п. 6.2.3), устанавливающих санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям, было указано, что «максимальные значения измеряемых уровней вибрации не должны превышать допустимые более чем на 10 дБ». Руководствуясь этим положением, в сводах правил [5, 7] в качестве второго нормируемого параметра было принято определяемое указанным выше способом максимальное значение виброскорости и введены для него допустимые значения в соответствии с нормативными документами [2, 12]. Однако в 2010 г. нормы [12] были заменены на нормы [3], в которых указанное положение о нормировании максимального значения отсутствует. В результате при практической оценке вибрации от рельсового транспорта (в том числе и метропоездов), руководствуясь стандартом [10], измеряют максимальное значение уровня виброускорения. Выполнить такое измерение значительно проще измерения эквивалентного значения по методике свода правил [7]. Измеренное максимальное значение сравнивают с уменьшенным на 10 дБ допустимым уровнем, установленным в [2, 3] для эквивалентного нормируемого параметра. Это приводит к существенному завышению воздействующей вибрации и, как следствие, к значительному удорожанию реализации мероприятий по ее снижению. Так НИИСФ РААСН выполнены исследования по оценке ожидаемых уровней вибраций от движения поездов Калужско – Рижской линии метрополитена г. Москвы в проектируемом жилом доме, располагаемом по адресу: г. Москва, ул. Вавилова, вл. 4. Установлено сопоставление с допустимым уровнем из [2] максимального скорректированного уровня виброускорения вместо использования эквивалентного скорректированного уровня виброскорости приводит к неправомерному завышению требуемого снижения превышения вибрации на 6 – 8 дБ для различных корпусов проектируемого жилого дома.

2. Оценка вибрации

Вибрация рельсового транспорта по способу передачи на человека является общей вибрацией и подразделяется на действующую вдоль осей ортогональной системы координат x , y , z , соответствующей базицентрической системе координат для тела человека по [10]. Оценка общей вибрации, воздействующей на человека внутри здания, выполняют по ГОСТ 31191.2 [13] посредством измерения в трёх указанных взаимно перпендикулярных направлениях. При этом систему координат выбирают, привязывая её к конструкции здания так, чтобы оси координат лежали преимущественно в плоскостях, параллельных плоскостям основных несущих элементов. Направления осей выбирают совпадающими с направлениями соответствующих осей для стоящего человека по [10], т.е. x (от спины к груди) и y (от правого плеча к левому) – горизонтальные оси, направленные параллельно опорным поверхностям; z - вертикальная ось, перпендикулярная полу.

С учетом отмеченного в предыдущем пункте для непротиворечивой оценки вибрации, создаваемой в помещениях жилых и общественных зданий рельсовым транспортом, следует

- для метропоездов руководствоваться положениями сводов правил [5, 7];
- для железнодорожного транспорта – руководствоваться допустимыми значениями эквивалентной $v_{w,эkv,доп}$ и максимальной $v_{w,макс,доп}$ виброскорости и их уровней $L_{v_{w,эkv,доп}}$, $L_{v_{w,макс,доп}}$, приведенными в таблице 1.

Таблица 1

Допустимые значения вибрации в помещениях жилых и общественных зданий

Помещение	Время суток	Допустимое значение по осям x , y , z			
		$v_{w,эkv,доп} \cdot 10^4$, м/с	$L_{v_{w,эkv,доп}}$, дБ	$v_{w,эмакс,доп} \cdot 10^4$, м/с	$L_{v_{w,макс,доп}}$, дБ
Жилое	с 7 до 23 ч	0,63	62	1,99	72
	с 23 до 7 ч	0,35	57	1,12	67
Палаты больниц и санаториев	с 7 до 23 ч	0,45	59	1,41	69
	с 23 до 7 ч	0,25	54	0,79	64
Административно-управленческое	-	0,89	65	2,81	75
Помещения школ, учебных заведений, читальных залов библиотек	-	0,63	62	1,99	72

Оценку вибрации на соответствие допустимым значениям следует проводить одновременно по эквивалентному и максимальному значениям скорректированной виброскорости так, что превышение одного из показателей должно рассматриваться как несоответствие санитарным требованиям.

Для оценки вибрации, создаваемой рельсовым транспортом на рабочих местах в общественных зданиях, следует руководствоваться предельно допустимыми значениями эквивалентного скорректированного виброускорения за 8-часовую рабочую смену $a_{w,8h,доп}$ и его уровня $L_{a_{w,8h,доп}}$, приведенными в таблице 2.

Таблица 2

Предельно допустимые значения вибрации на рабочих местах общественных зданий

Предельно допустимое значение по осям			
x , y		z	
$a_{w,8h,доп}$, М/с ²	$L_{a_{w,8h,доп}}$, дБ	$a_{w,8h,доп}$, М/с ²	$L_{a_{w,8h,доп}}$, дБ
0,0099	80	0,014	83

Вместе с тем, так как характеристики средств снижения вибрации задаются в полосах частот, для подбора требуемых средств виброзащиты необходимо наряду с максимальными и эквивалентными значениями нормируемых параметров знать соответствующие предельные значения этих параметров в октавных полосах частот.

Такие значения для помещений жилых и общественных зданий и для рабочих мест, принятые в соответствии с [2], приведены в таблицах 3, 4.

Таблица 3

Предельные значения нормируемых параметров виброскорости в помещениях жилых и общественных зданий

$f_{ст}, Гц$	Предельное значение по осям x, y, z			
	$v_{w,экр,дон} \cdot 10^4,$ м/с,	$L_{v_{w,экр,дон}},$ дБ	$v_{w,эмакс,дон} \cdot 10^4,$ м/с,	$L_{v_{w,макс дон}},$ дБ
Жилое помещение в ночное время суток (с 23 ч до 7 ч) ^{1),2)}				
4	0,56	61	1,77	71
8	0,35	57	1,12	67
16	0,35	57	1,12	67
31,5	0,35	57	1,12	67
63	0,35	57	1,12	67
Административно-управленческое помещение ³⁾				
4	1,41	69	4,46	79
8	0,89	65	2,81	75
16	0,89	65	2,81	75
31,5	0,89	65	2,81	75
63	0,89	65	2,81	75
¹⁾ В дневное время в помещениях допустимо увеличение предельных значений в 1,78 раза (предельных уровней на 5 дБ). ²⁾ В палатах больниц и санаториев предельные значения должны быть снижены в 1,41 раз (предельные уровни – на 3 дБ). ³⁾ Для помещений школ, учебных заведений, читальных залов библиотек предельные значения должны быть снижены в 1,41 раз (предельные уровни – на 3 дБ).				

Таблица 4

Предельные значения нормируемых параметров виброускорения на рабочих местах в помещениях общественных зданий

$f_{ст}, Гц$	Предельное значение по осям			
	x, y		z	
	$a_{w,8h,дон}, М/с^2$	$L_{a_{w,8h,дон}}, дБ$	$a_{w,8h,дон}, М/с^2$	$L_{a_{w,8h,дон}}, дБ$
4	0,010	80	0,014	83
8	0,010	80	0,014	83
16	0,020	86	0,028	89
31,5	0,040	92	0,056	95
63	0,080	98	0,112	101

Значения нормируемых параметров следует определять либо посредством измерений с помощью интегрирующих цифровых приборов с использованием записи истории процесса, либо расчётом по значениям в октавных полосах частот с помощью выражений:

$$v_w = \sqrt{\sum_{i=1}^n (w_i v_i)^2}, \quad (4)$$

$$L_{v_w} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{v,i}+L_{w,i})}, \quad (5)$$

$$a_{w,экв} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (w_i a_{экв,i})^2}, \quad (6)$$

$$L_{a_{w,экв}} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{a,экв,i}+L_{w,i})}, \quad (7)$$

где v_i , $a_{экв,i}$ и $L_{v,i}$, $L_{a,экв,i}$ – значение эквивалентной (максимальной) виброскорости, м/с, эквивалентного виброускорения, м/с², и их уровней, дБ, в i -й октавной полосе; w_i , $L_{w,i}$ – значение функции частотной коррекции и её уровня, дБ, для среднегеометрической частоты i -й октавной полосы; n – число учитываемых октавных полос: $n = 3$ для метропоездов (октавные полосы со среднегеометрическими частотами ($f_{сг}$) 16, 31,5, 63 Гц), $n = 5$ для железнодорожного транспорта (октавные полосы с $f_{сг} = 4, 8, 16, 31,5, 63$ Гц).

Значения функций частотной коррекции и их уровней принимают по таблице 5.

Таблица 5
 Функции частотной коррекции

$f_{сг}$, Гц	Значение функции частотной коррекции ¹⁾							
	для виброскорости по осям				для виброускорения по осям			
	x, y		z		$x, y (W_d)$		$z (W_k)$	
	w_i	$L_{w,i}$, дБ	w_i	$L_{w,i}$, дБ	w_i	$L_{w,i}$, дБ	w_i	$L_{w,i}$, дБ
4	1	0	0,45	-7	0,5120	-5,82	0,9670	-0,29
8	1	0	0,9	-1	0,2530	-11,93	1,0360	0,31
16	1	0	1	0	0,1266	-17,95	0,7743	-2,22
31,5	1	0	1	0	0,0630	-24,01	0,4031	-7,89
63	1	0	1	0	0,0295	-30,62	0,1857	-14,62

¹⁾ Для виброскорости значения w_i и $L_{w,i}$ приняты по [2], для виброускорения по [10] и ГОСТ ИСО 8041-2006 [14] (приложение В).

Заключение

В качестве нормируемых параметров непостоянной вибрации, создаваемой рельсовым транспортом в помещениях жилых и общественных зданий, следует принимать эквивалентное и максимальное скорректированные значения виброскорости $v_{w,экв}$, $v_{w,макс}$ в м/с или их логарифмические уровни $L_{v_{w,экв}}$, $L_{v_{w,макс}}$ в дБ. Оценку вибрации на соответствие допустимым значениям следует проводить одновременно по эквивалентному и максимальному значениям скорректированного параметра. Превышение одного из показателей должно рассматриваться как несоответствие санитарным требованиям.

Для подбора средств виброзащиты целесообразно применять предельные значения нормируемых параметров в октавных полосах для свойственного рельсовому транспорту диапазона частот, принятые в соответствии с санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.566-96.

Во избежание недоразумений в оценке непостоянной вибрации санитарные нормативные документы СН 2.2.4/2.1.8.566-96 и СанПиН 2.1.2.2645-10 необходимо уточнить. Установить в них однозначные требования к нормируемым параметрам

непостоянной вибрации, включив в их число наряду с эквивалентным максимальное скорректированное значение виброскорости или виброускорения или их логарифмический уровень. Установить также требования к допустимым значениям максимальной величины вибрации. Следует уточнить значение времени усреднения при определении эквивалентного нормируемого параметра, приняв в качестве него время оценки воздействующей вибрации, как это сделано для рабочих мест в СанПиН 2.2.4.3359-16.

Список литературы

1. Руднева Е.А. Анализ результатов измерений уровней вибрации в жилых домах при движении поездов метрополитена, выполненных специалистами ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Москве» в период с 2014-2017 гг.//Материалы межд. научно-практич. конф. «Проблемы экологической безопасности, энергосбережение в строительстве и ЖКХ», Москва-Кавала, 2017. – с 22-26.
2. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы. М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997.
3. СанПиН 2.1.2.2645-10. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2010.
4. СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2017 .
5. СП 120.13330.2012 СНиП 32-02-2003. Метрополитены. Свод правил. М.: Минрегион России, 2012.
6. СНиП 32-02-2003. Метрополитены. Строительные нормы и правила М.: Метрогипротранс, 2004.
7. СП 23-105-2004. Оценка вибрации при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов метрополитена. Свод правил. М.: Метрогипротранс, 2004.
8. Tsukernikov I.E, Kostarev S.A., Nekrasov I.A. Choice of a controlled parameter when assessing underground train passing vibration in building// Procced. of the 5-th Intern.l Symp. «Transport noise and vibration», St.Petersburg, Russia, 2000.- Тn-s 2-08.
9. DIN 4150, Teil 2. Erschütterungen in Bauwesen. Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden. Deutsche Norm. DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, 1992.
10. ГОСТ 31191.1-2004. Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1 – Общие требования. М.: Стандартинформ, 2010.
11. Theoretische Grundlagen zum Programm VIBRA-1-2-3. Version 4.0/5.1.2009. Ziegler Consultants, SBB CFF FFS, 2009. – 49 p.
12. СанПиН 2.1.2.1002-00. Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2001.
13. ГОСТ 31191.2-2004 (ИСО 2631-2:2003). Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 2 – Вибрация внутри зданий. М.: Стандартинформ, 2008.
14. ГОСТ ИСО 8041-2006. Вибрация. Воздействие вибрации на человека. Средства измерений. М.: Стандартинформ, 2008.