

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕХНОГЕННОЙ ВИБРАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ГРУНТА В ТЕХНИЧЕСКОЙ ЗОНЕ ПОДЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

Василевич Ю.В., доктор физико-математических наук, профессор¹
Неумержицкая Е.Ю., кандидат физико-математических наук, доцент²
Савицкая А.В., старший преподаватель¹

¹*Белорусский национальный технический университет, Минск,
Беларусь*

²*Государственное учреждение образования «Академия образования»
vasilevich.bntu@mail.ru*

Введение. В связи со сложной картиной распространения упругих волн в окружающее грунтовое пространство, генерируемых динамическими источниками, функционирующими в подземных выработках, тоннелях метрополитена неглубокого заложения и некоторых других объектах, возникают трудности построения математической модели для описания реальных волновых процессов, существенно влияющих на прочностные характеристики зданий, сооружений, гигиеническую обстановку в них по уровням шума и вибрации, подверженных интенсивным вибрационным воздействиям. В данной работе изложена методика расчета затухания показателей уровня вибрации поверхности грунта на удалении от действующего тоннеля, а также дан расчет и анализ амплитуд виброскоростей поверхности грунта. Исследование основано на экспериментальных данных, полученных на основе натурных исследований по изучению динамических характеристик колебаний лотка, обделки тоннеля, поверхности грунта в технической зоне метрополитена при движении подвижного состава.

Вертикальная и горизонтальная составляющие виброскорости на поверхности грунта в третьоктавных (октавных) полосах частот i определяются по формуле

$$v(i) = \sqrt{v_R^2(i) + v_l^2(i)}, \quad (1)$$

где виброскорости $v_R(i)$ в третьоктавной (октавной) полосе частот i , м/с, вызванная волной Релея и продольной волной $v_l(i)$ определяются на основе уравнений [2]

$$v_R(i) = \sqrt{\frac{R_0}{H_0}} v_{\max}(i) e^{-\beta k_R x} e^{-\beta k_l H_0}, \quad (2)$$

$$v_l(i) = \sqrt{\frac{R_0}{\sqrt{x^2 + H_0^2}}} v_{\max}(i) e^{-\beta k_l \sqrt{x^2 + H_0^2}}. \quad (3)$$

Здесь $R_0 = \min\left(\frac{D}{2}; \frac{c_l}{\omega}\right)$ – характерный размер, где D – ширина тоннеля;

H_0 – глубина, на которой находится лотковая часть обделки тоннеля, м;

$v_{\max}(i)$ – максимальная из вертикальной и горизонтальной составляющих виброскорости в третьоктавной (октавной) полосе частот i на лотковой части тоннеля; x – удаление от продольной оси тоннеля, м;

β – коэффициент затухания в грунте; $k_R = \frac{2\pi f}{0,92c_t}$ – волновое число

волны Рэлея, где c_t – скорость распространения поперечных волн;

$k_l = \frac{2\pi f}{c_l}$ – волновое число продольной волны в грунте.

Передаточная функция k_{soil} может быть вычислена по формуле или получена экспериментально

$$k_{soil} = \frac{v(i)}{v_{\max}(i)} \quad (4)$$

Эквивалентное корректированное значение рассчитывается по формуле

$$v_{w,eq} = \sqrt{\frac{1}{T_r} \sum_j T_{ej} (v_{w,\max,j})^2}, \quad (5)$$

где T_r – время оценки вибрационного воздействия;

T_{ej} – частичное время воздействия вибрации, соответствующее реализации j -го режима движения поездов;

$v_{w,\max,j}$ – максимальное корректированное значение виброскорости, характеризующее интенсивность вибрации за время T_{ej} .

Значения величин времени воздействия вибрации определяются согласно графику движения поездов рассматриваемой линии метрополитена.

На основании [1, 2] определим амплитуды виброскорости на поверхности грунта, возбуждаемого движением поездов метрополитена в тоннеле с глубиной заложения 12 м от основания лотка до поверхности. Строение пути - типовое (деревянные шпалы, утопленные в бетон). Конструкция обделки тоннеля – цельно секционная железобетонная. Геологическая обстановка - суглинок туго пластичный с плотностью 1700 кг/м³, скоростями распространения продольных и поперечных волн соответственно 600 и 250 м/с и декрементом затухания во всем нормируемом диапазоне частот 0,1.

Зависимости максимальных величин вибрации в октавных диапазонах 16, 31,5 и 63 Гц от расстояния до стены тоннеля (в плане) приводятся соответственно на рисунках 1 -3. Все расчеты производятся для максимальных значений виброскорости. Нормативные значения виброскорости для жилых зданий указаны для ночного времени суток [3].

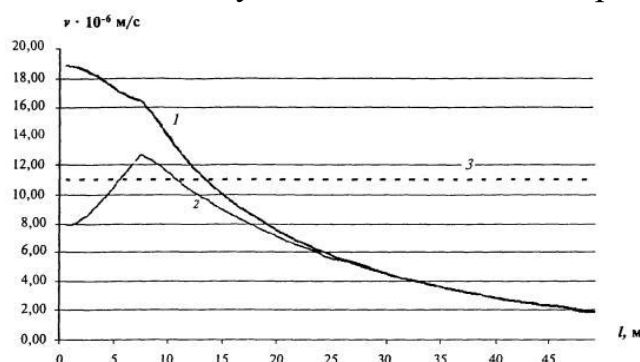


Рисунок 1 - Зависимость максимальной величины вертикальной и горизонтальной составляющих виброскорости v от расстояния до тоннеля в октавном диапазоне 16 Гц

1 - вертикальная составляющая; 2 - горизонтальная составляющая; 3 - нормативное значение

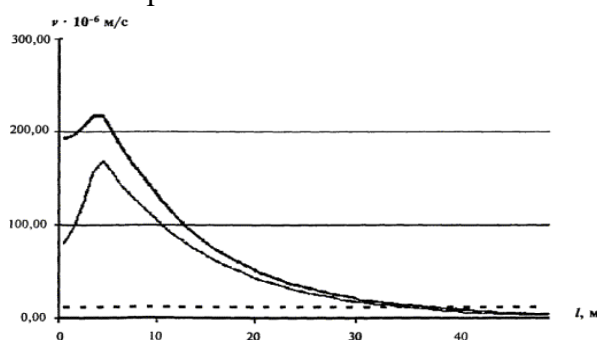


Рисунок 2 - Зависимость максимальной величины вертикальной и горизонтальной составляющих виброскорости v от расстояния до тоннеля в октавном диапазоне 31,5 Гц

1 - вертикальная составляющая; 2 - горизонтальная составляющая; 3 - нормативное значение

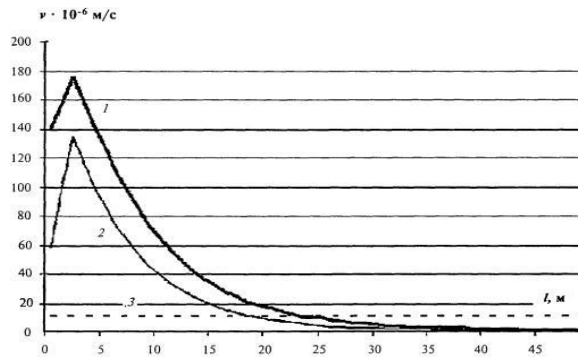


Рисунок 3 - Зависимость максимальной величины вертикальной и горизонтальной составляющих виброскорости v от расстояния до тоннеля в октавном диапазоне 63 Гц.

1 - вертикальная составляющая; 2 - горизонтальная составляющая; 3 - нормативное значение

Расчет затухания показателей уровня вибрации в грунте на удалении от тоннеля можно осуществить на основе расчета и анализа амплитуд виброскоростей поверхности грунта. Поскольку основными вибрациями, которые необходимо учитывать при виброзащите верхнего строения пути и фундаментов зданий, расположенных в технической зоне метрополитена неглубокого заложения при движении подвижного состава, рассмотрим решение поставленной задачи в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5 и 63 Гц.

Для расчета затухания показателей уровня вибрации на поверхности грунта в октавной полосе со среднегеометрической частотой 31,5 Гц

воспользуемся рисунком 2, на котором проиллюстрированы графики зависимостей показателей виброскоростей поверхности грунта в технической зоне метрополитена неглубокого заложения от расстояния, отсчитываемого в плане от тоннеля.

На расстоянии ≈ 5 м от обделки тоннеля зафиксированы максимальные уровни виброскорости, которые для вертикальной v_v и горизонтальной v_h составляющих равны

$$v_v = 220 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}, \quad v_h = 170 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}.$$

$$\text{Для } 10 \text{ м имеем } v_v = 120 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}, \quad v_h = 100 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}.$$

Следовательно, в указанном диапазоне участка в плане максимальная вертикальная составляющая виброскорости уменьшилась в 1,8 раза или на 5дБ; горизонтальная компонента в 1,7 раза или 5дБ. Однако, на 10 м $v_v = 120 \cdot 10^{-6}$ м/с, т.е. превышение нормативного значения составляет 12 раз или 21дБ.

Для участка 10 – 20 м наблюдается снижение показателей виброскорости для v_v от $120 \cdot 10^{-6}$ м/с до $4,9 \cdot 10^{-5}$ м/с. Для 20 м превышение предельно допустимого значения виброскорости равно 13 дБ, т.е. имеет место уменьшения показателей уровня вибрации от 21 дБ до 13 дБ по сравнению с предыдущим участком.

Для участка 20 – 30 м также наблюдается уменьшение показателей вибрации $4,9 \cdot 10^{-5}$ м/с до предельно допустимой величины, достигаемой вертикальной так и горизонтальной составляющими виброскорости на расстоянии 35 м от тоннеля. За указанной отметкой по расстоянию амплитуда виброскорости становится меньше предельно допустимой величины и колебания затухают.

Рассчитаем коэффициенты затухания вертикальной k_v и горизонтальной k_r составляющих виброскорости на поверхности грунта в октавной полосе со среднегеометрической частотой 31,5 Гц.

На участке 5 – 10 м:

$$k_v = 120 \cdot 10^{-6} \text{ м/с} / 220 \cdot 10^{-6} \text{ м/с} \approx 0,5,$$

$$k_r = 100 \cdot 10^{-6} \text{ м/с} / 170 \cdot 10^{-6} \text{ м/с} \approx 0,6.$$

На участке 10 – 20 м:

$$k_v = 49 \cdot 10^{-6} \text{ м/с} / 120 \cdot 10^{-6} \text{ м/с} = 0,4,$$

$$k_r = 42 \cdot 10^{-6} \text{ м/с} / 100 \cdot 10^{-6} \text{ м/с} = 0,4.$$

На участке 20 – 30 м:

$$k_v = 19 \cdot 10^{-6} \text{ м/с} / 49 \cdot 10^{-6} \text{ м/с} = 0,4,$$

$$k_r = 19 \cdot 10^{-6} \text{ м/с} / 42 \cdot 10^{-6} \text{ м/с} = 0,45.$$

На участке 30 – 40 м:

$$k_v = 15 \cdot 10^{-6} \text{ м/с} / 19 \cdot 10^{-6} \text{ м/с} = 0,8,$$

$$k_r = 15 \cdot 10^{-6} \text{ м/с} / 19 \cdot 10^{-6} \text{ м/с} = 0,8.$$

Аналогичные вычисления можно осуществить для других частот, необходимых для расчета параметров, с учетом изложенной методики.

Заключение. Изложена методика расчета техногенной вибрации поверхности грунта в технической зоне подземных транспортных магистралей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. "ВСН 211-91. Прогнозирование уровней вибрации грунта от движения метропоездов и расчет виброзащитных строительных устройств".
2. СП 23-105-2004 «Оценка вибрации при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов метрополитена» (gostrf.com).
3. Санитарные нормы допустимых вибраций в жилых, административных и общественных помещениях зданий. – Мн; 2016.