

УДК 539.3

Ю. В. ВАСИЛЕВИЧ, доктор физико-математических наук, А. Т. КИРИЛЕНКО, В. В. НЕУМЕРЖИЦКИЙ, Е. Ю. НЕУМЕРЖИЦКАЯ, кандидат физико-математических наук, Белорусский национальный технический университет, Минск

ВИБРОИЗОЛЯЦИЯ ЗДАНИЙ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В ТЕХНИЧЕСКОЙ ЗОНЕ МЕТРОПОЛИТЕНА НЕГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

Описаны основные параметры вибрации, характеризующие оценку санитарно-гигиенической обстановки по вибрации в зданиях, подвергающихся интенсивным вибрационным воздействиям, вызванным подвижным составом подземных транспортных магистралей с неглубоким заложением тоннелей. Дана оценка эффективности виброизоляции зданий с использованием резиновых и полиуретановых виброизоляторов.

Практика проектирования современных зданий и сооружений всегда учитывает динамические воздействия на создаваемые конструкции. К числу причин, объясняющих применение вышеизложенного требования, относятся:

- возросший уровень динамических нагрузок, создаваемых машинами, механизмами, использование ударов и вибрации, обусловленных технологическими процессами;

- учет динамического действия ветра;

- наличие в зданиях точных технологических процессов и измерительных приборов, уникального дорогостоящего медицинского оборудования (томографы и др.), требующих соблюдения предельных уровней вибрации;

- другие требования и причины.

Предельно допустимый уровень колебаний элементов конструкций, подвергающихся динамическим воздействиям, устанавливается по трем общепринятым признакам:

- 1) прочностью и выносливостью конструкций или несущей способностью;

- 2) физиологическим воздействием вибрации на людей;

- 3) влиянием вибрации на производственный процесс.

Динамический расчет несущих элементов зданий осуществляется по следующей методике: задают динамические нагрузки с частотными характеристиками; определяют амплитуды динамических перемещений (ускорений) и сопоставляют с соответствующими предельно допустимыми величинами; обосновывают необходимость расчета на прочность; рассчитывают изгибающие моменты и поперечные силы, осуществляют расчет на прочность и выносливость.

Многочисленные исследования вибрации несущих элементов зданий, расположенных вблизи действующего Минского метрополитена неглубокого заложения, показали, что максимальные амплитуды колебаний строительных конструкций очень малы (не превышают 5 мкм), и они не влияют на прочностные характеристики сооружений (например, при пролете перекрытия 5,0 м динамический прогиб равен $5 \cdot 10^6 / 5 \cdot 10^4 = 100$ мкм, при 3,0 м – $3 \cdot 10^6 / 5 \cdot 10^4 = 60$ мкм (отметим, что если прогиб не более $1/5 \cdot 10^4$ части пролета конструкции, то динамический расчет на прочность не проводится). Из

приведенных примеров следует, что как в первом, так и во втором случае, реальный прогиб перекрытий в 20 и 12 раз меньше предельно допустимого.

Вибрация, возникающая от движения подвижного состава, передается через лоток и обделку тоннеля в грунт, а через грунт – фундаментам зданий.

Измерения уровней вибрации в зданиях показали, что самые неблагоприятные колебания перекрытий зарегистрированы в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5 и 63 Гц. Объясняется это тем, что собственные частоты колебаний перекрытий находятся в диапазоне 20–50 Гц, совпадают с основными частотами диапазона спектра колебаний, передающихся через грунт зданиям. В этих же частотных диапазонах в помещениях зданий осуществляется структурный шум в виде гула, если превышены предельно допустимые уровни вибрации.

Следовательно, одним из важнейших аргументов, подтверждающих необходимость учета динамических волновых нагрузок, является решение технических задач, направленных на обеспечение санитарно-гигиенической обстановки в зданиях и сооружениях по уровням вибрации и шума, регламентированным утвержденными санитарными правилами и нормами.

Допустимый уровень колебаний, определяемый характером физиологического воздействия. Согласно постановлению Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 26.12.2013 № 132, утверждены Санитарные нормы и правила «Требования к производственной вибрации, вибрации в жилых помещениях, помещениях административных и общественных зданий»; Гигиенический норматив «Предельно допустимые и допустимые уровни нормируемых параметров при работах с источниками производственной вибрации, вибрации в жилых помещениях, помещениях административных и общественных зданий».

Санитарные нормы и правила устанавливают требования к производственной вибрации в жилых помещениях, помещениях административных и общественных зданий. Допустимый уровень вибрации в жилых помещениях и помещениях административных и общественных зданий – уровень параметра вибрации, который не вызывает у человека значительного беспокойства и существенных изменений показателей функционального

состояния систем и анализаторов, чувствительных к вибрационному воздействию.

Корректированный по частоте уровень вибрации – одночисловая характеристика вибрации, непосредственно измеряемая с применением виброметров с корректирующими фильтрами или определяемая как результат энергетического суммирования уровней вибрации в октавных (третьоктавных) полосах с учетом октавных (третьоктавных) весовых коэффициентов (поправок) по формуле

$$L_w = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{wi} + \Delta L_{wi})},$$

где L_w – корректированный по частоте уровень параметра вибрации, дБ; L_{wi} – октавные (третьоктавные) уровни параметры вибрации, дБ; ΔL_{wi} – октавные (третьоктавные) весовые коэффициенты (поправки), дБ; i – порядковый номер октавной (третьоктавной) полосы; n – число октавных (третьоктавных) полос.

Значения октавных и третьоктавных весовых коэффициентов (поправок) для частотных коррекций локальной и общей вибрации принимаются согласно таблицам 1 и 2 утвержденного гигиенического норматива «Предельно допустимые и допустимые уровни нормативных параметров при работах с источниками производственной вибрации, вибрации в жилых помещениях, административных и общественных зданий».

Уровни вибрации могут оцениваться виброперемещением, виброскоростью, виброускорением, корректированным по частоте уровнем вибрации, эквивалентным по энергии, корректированным по частоте уровнем параметра непостоянной вибрации.

Логарифмические уровни виброскорости L_{vi} , дБ, и виброускорения L_{ai} , дБ, в i -й октавной или третьоктавной полосе – уровни, непосредственно измеряемые в октавных или третьоктавных полосах частот или определяемые по формулам

$$L_{vi} = 20 \lg v_i / v_0, \quad L_{ai} = 20 \lg a_i / a_0,$$

где v_i и a_i – средние квадратические значения виброскорости, м/с, и виброускорения, м/с², в октавных или третьоктавных полосах частот,

$$v_i = \left(\frac{1}{T} \int_0^T [v(t)]^2 dt \right)^{0,5}, \quad a_i = \left(\frac{1}{T} \int_0^T [a(t)]^2 dt \right)^{0,5};$$

$v(t)$ и $a(t)$ – функции, характеризующие изменения скорости колебаний и ускорения во времени; T – период изменения $v(t)$ и $a(t)$; $v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с и $a_0 = 3 \cdot 10^{-4}$ м/с² – исходные значения виброскорости и виброускорения.

Эквивалентный по энергии, корректированный по частоте уровень параметра непостоянной вибрации – это корректированный уровень параметра постоянной вибрации, которая имеет такое же среднее квадратическое корректированное значение параметра, что и данная непостоянная вибрация в течение определенного интервала времени (времени наблюдения).

Эквивалентный по энергии, корректированный по частоте уровень параметра непостоянной вибрации $L_{w\text{экв}}$, дБ, измеряется с применением интегрирующих виброметров или рассчитывается на основании эквива-

лентных уровней, измеренных в октавных (третьоктавных) полосах частот, по формуле

$$L_{w\text{экв}} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{w\text{экв}i} + \Delta L_{wi})},$$

где $L_{w\text{экв}i}$ – октавные (третьоктавные) эквивалентные уровни параметра вибрации, дБ; ΔL_{wi} – октавные (третьоктавные) весовые коэффициенты (поправки), дБ; i – порядковый номер октавной (третьоктавной) полосы; n – число октавных (третьоктавных) полос.

Одним из наиболее эффективных технических решений, направленным на снижение уровня вибраций несущих конструкций зданий и сооружений, является виброизоляция. На практике виброизоляция широко применяется для снижения динамического воздействия от машин, передающегося через поддерживающие конструкции; снижения уровня вибраций приборов, прецизионного оборудования, зданий, фундаменты которых подвергаются воздействию интенсивных вибрационных полей. Основными элементами вибрации являются виброизоляторы, размещенные между основанием и виброизолируемым объектом. Кинематическая виброизоляция используется для снижения уровня колебаний виброизолируемого объекта от колеблющегося основания с переменными уровнями.

Впервые в Минске виброизоляция здания была применена при строительстве здания инженерного корпуса Минского метрополитена, который находится в технической зоне метрополитена неглубокого заложения. При виброизоляции корпуса были использованы резиновые виброизоляторы. Экспериментальные исследования уровня вибрации в здании показали, что резиновые виброизоляторы до 8 дБ снижают уровень вибрации в октавной полосе со среднегеометрической частотой 63 Гц при движении подвижного состава. Существенного снижения уровня вибрации в здании в октавной полосе со среднегеометрической частотой 31,5 Гц не было достигнуто. Отметим, что в указанных диапазонах частот наиболее трудно снизить уровни вибраций от подвижного состава метрополитена неглубокого заложения в связи возникающими резонансными колебаниями несущих строительных элементов (потолки, стены) зданий. Для повышения эффективности виброизоляции зданий были разработаны полиуретановые виброизоляторы, которые внедрены при строительстве двух зданий медицинского назначения по ул. Энгельса, 25, 27 в Минске. Указанные здания расположены в технической зоне метрополитена, и их фундаменты подвергаются мощным вибрационным воздействиям при прохождении подвижного состава. Замеры уровней вибрации в зданиях показали, что они значительно меньше предельно допустимых значений. Структурного шума в зданиях нет, и вибрация в помещениях не ощущается.

При разработке проекта по виброзащите зданий было дано общее описание виброизоляции, сформировано требование повышенной пространственной жесткости зданий и их виброакустической отрезки от основания, рекомендована технология монтажа, произведен расчет на прочность и жесткость виброизоляторов.

Каждый изготовленный полиуретановый виброизолятор представляет прямоугольный параллелепипед с квадратным основанием 350 x 350 мм высотой 90 мм,

содержит определенное количество (в зависимости от нагрузки сооружения) сквозных деформационных отверстий.

Ленточный фундамент сооружается на мощной железобетонной фундаментной плите. На фундаменте устанавливаются, в соответствии с расчетом, виброизоляторы с использованием специальных железобетонных опор, предназначенных для монтажа (демонтажа) виброизоляторов. После установки виброизоляторов осуществляется дальнейшее строительство здания с учетом равномерности нагрузки на виброизоляторы. Все виброизоляторы являются равножесткими; требуется, что-

бы центр жесткости виброизоляции совпадал с центром масс здания.

Измерения уровней вибрации в виброизолированных зданиях показали, что внедрение полиуретановых виброизоляторов способствовало решению возникшей проблемы по виброзащите строительных объектов медицинского назначения от динамического воздействия подвижного состава метрополитена неглубокого заложения. Преодолены были препятствия по существенному снижению уровней вибраций до предельно допустимых значений в помещениях построенной больницы в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5 и 63 Гц.

Получено 20.04.2016

Yu. V. Vasilevich, A. T. Kirilenko, V. V. Nevmerzhitkiy, E. Yu. Nevmerzhitkaya. Vibration insulation of a building located in the technical area of subway shallow foundations.

The basic parameters of vibration characterizing assess sanitary conditions for vibration in buildings exposed to intense vibration effects caused by rolling stock of underground highways with a shallow emplacement tunnels. The estimation of efficiency of vibration isolation of buildings with the use of rubber and polyurethane shock absorbers.